



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

### Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

### **БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Частотно-регулируемый электропривод вращающейся печи</b>

УДК 62-83-523:66.041.49

### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Умаралиев Мамуржон Гайратилла угли		

### Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С. Н.	к.т.н.		

### Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Умурзакова А.	к.т.н.		

### **КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян М.В.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

### **ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

## Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
<b>Р 1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
<b>Р 2</b>	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
<b>Р 3</b>	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
<b>Р 4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
<b>Р 5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
<b>Р 6</b>	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<b>Р 7</b>	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
<b>Р 8</b>	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
<b>Р 9</b>	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
<b>Р 10</b>	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
<b>Р 11</b>	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
<b>Р 12</b>	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ

\_\_\_\_\_ А.С. Ивашутенко

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Умаралиеву Мамуржону Гайратилла угли

Тема работы:

<b>Частотно-регулируемый электропривод вращающейся печи</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3483/с от 06.05.2019г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019г.
------------------------------------------	--------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; анализ технических требований. выбор электродвигателя. Выбор преобразователя частоты. исследование имитационной модели асинхронного электропривода вращающейся печи социальная

	ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- схема кинематическая;</li> <li>- схема электрическая функциональная;</li> <li>- схема электрическая структурная;</li> <li>- графики переходных процессов пуска,</li> <li>- технико-экономические показатели;</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Заключение	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	05.04.2019г
-------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------

**Задание выдал руководитель / консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		05.04.2019г.
Старший преподаватель	Умурзакова А.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Умаралиев Мамуржон Гайратилла угли		05.04.2019г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2018 /2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2019г.
------------------------------------------	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
23.05.2019	Основная часть	60
15.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
17.05.2019	Социальная ответственность	20

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С. Н.	К.Т.Н.		

**Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Умурзакова А. Д.	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

## Техническое задание

Для вращающейся печи для обжига молибденового концентрата спроектировать регулируемый электропривод переменного тока. При разработке проекта следует ориентироваться на использование преобразователя частоты и системы векторного управления асинхронным двигателем с однозонным регулированием. Привод вращающейся печи должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Работа в четырёх квадрантах при изменении нагрузки от  $0,05M_n$  до  $M_n$ , где  $M_n=14,212$  Нм;
2. Максимальная скорость вращения печи  $n_{п.макс} = 3,5$  об/мин;
3. Диапазон регулирования скорости вращения  $D=1:3,5$ ;
4. Электропривод должен иметь следующие виды защит:
  - от короткого замыкания;
  - от токов перегрузки;
  - от перенапряжений;
  - от исчезновения напряжения сети полного, так и частичного;
  - от потери информации датчика скорости;
5. Сигнал управления, соответствующий максимальной скорости, аналоговый и соответствует  $\pm 10$  В;
6. Погрешность регулирования скорости при изменении нагрузки от  $0,05M_n$  до  $M_n$  не более 5%;
7. Электропривод должен обеспечивать стабилизацию скорости и управление моментом;
8. Параметры питающей сети:
  - частота  $f_c=50$  Гц;
  - напряжение  $U = 380^{+10}_{-15}$  В.

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа содержит 101 страницы, 39 рисунок, 13 таблиц, 12 источников и приложение.

Цель работы: произвести расчет и выбор электрооборудования для электропривода вращающейся печи, предназначенный для обжига молибденового концентрата.

Для управления электроприводом принята векторная система управления асинхронным двигателем.

Проведены исследования в области статики и динамики системы с помощью численного моделирования на ЭВМ.

ВКР выполнена в текстовом документе Microsoft Word 7.0 и представлена на CD диске (в конверте на обороте обложки).

## Содержание

Введение.....	10
1. Общие вопросы проектирования.....	11
1.1 Технологический процесс.....	11
1.2 Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата.....	12
1.3 Выбор двигателя.....	13
1.4 Расчёт параметров двигателя.....	14
1.5 Расчет и построение естественной механической и электромеханических характеристик электродвигателя.....	19
2. Разработка электропривода вращающейся печи.....	22
2.1 Функциональная схема электропривода.....	22
2.2 Выбор преобразователя частоты.....	25
3. Расчёт параметров оптимальной настройки системы.....	27
3.1 Структурная схема векторного управления системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель.....	27
3.1.1 Модель асинхронного двигателя.....	29
3.1.3 Обратный преобразователь координат.....	31
3.1.4 Идеализированный преобразователь частоты.....	32
3.1.5 Блок развязки.....	33
3.2 Система относительных единиц.....	33
3.3 Контур тока $i_{sx}$ .....	36
3.4 Контур тока $i_{sy}$ .....	37
3.5 Контур потокосцепления.....	38
3.6 Контур скорости.....	39
3.7 Ожидаемые параметры функционирования электропривода.....	40
3.7.1 Контур тока.....	40
3.7.3 Контур скорости.....	41
4. Имитационное моделирование.....	43
4.1 Логарифмические амплитудно – частотные характеристики.....	43
4.1.1 Контур тока $i_{sx}$ .....	43
4.1.2 Контур тока $i_{sy}$ .....	44
4.1.3 Контур потокосцепления.....	45
4.1.4 Контур скорости.....	46
4.2 Переходные процессы.....	47
4.2.1 Переходный процесс контура тока $i_{sx}$ .....	47
4.2.2 Переходный процесс контура тока $i_{sy}$ .....	48
4.2.3 Переходный процесс контура потокосцепления.....	49
4.2.4 Переходный процесс контура скорости.....	50
4.3 Исследование нелинейной системы.....	51
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	58
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... ..	59
5.1 SWOT-анализ по разработки проекта регулируемого электропривода вращающийся печи.....	59



5.2 Структура работ в рамках технического проектирования .....	62
5.3 Определение трудоемкости выполнения работ .....	64
5.4 Разработка графика проведения технического проекта .....	66
5.5 Составление сметы затрат на разработку ТП .....	68
5.5.1 Расчет материальных затрат.....	68
5.5.2 Расчет полной заработной платы исполнителей темы .....	69
5.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	70
5.5.4. Накладные расходы.....	71
5.6 Формирование сметы затрат технического проекта .....	71
5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), эффективности технического проекта.....	72
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	75
6 Социальная ответственность .....	76
6.1 Введение.....	76
6.2 Правовые и организационные вопросы.....	76
6.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	76
6.3 Анализ вредных и опасных факторов при монтаже и наладке, а также при эксплуатации вращающейся печи .....	77
6.4 Расчет защитного заземления.....	79
6.5 Производственная санитария .....	81
6.6 Охрана окружающей среды .....	86
6.7 Пожарная безопасность.....	88
Заключение .....	92
Conclusion.....	94
Список использованной литературы.....	95
Приложение А. ....	96

## **Введение**

Промышленное производство молибдена началось в 1909...1910 гг., когда были обнаружены особые свойства оружейных и броневых сталей, легированных этим металлом, а также разработана технология получения компактных тугоплавких металлов методом порошковой металлургии.

Молибден имеет широкое применение. Молибден существенно улучшает свойства сталей. Для повышения твёрдости молибден вводят в сплавы кобальта и хрома, которые применяют для наплавки кромок деталей из обычной стали, работающих на износ. Молибден входит в состав ряда жаростойких и кислотоупорных сплавов на основе никеля, кобальта и хрома. В чистом виде молибден применяется в виде ленты или проволоки, в качестве нагревательных элементов электропечей, работающих в атмосфере водорода при температурах до 1600 °С. Молибденовая жёсть и проволока широко используется в радиоэлектронной промышленности и рентгентехнике для изготовления различных деталей электронных ламп, рентгеновских трубок и других вакуумных приборов.

## 1. Общие вопросы проектирования

### 1.1 Технологический процесс

На участке 100 в Алмалыке выполняется этап обжига сырья (молибденового концентрата), во время которого происходит выделение газа  $\text{SO}_2$ , а все сульфиды окисляются до оксидов. В соответствии с требованиями процесса необходимо выдерживать сырьё в течении двух часов в окисляющей среде при температуре 600-620°C. При более низкой температуре процесс слишком замедляется, при температуре, превышающей 720°C, оксид молибдена активно возгорается. Во время обжига сырьё возгорается и горит само по себе. Схема технологического процесса представлена на рисунке 1.

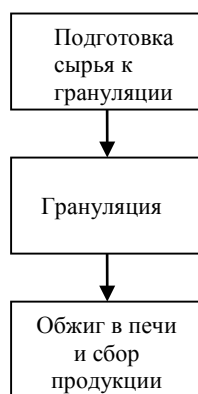


Рисунок 1 - Схема технологического процесса

Процесс подготовки сырья к грануляции начинается с системы пневматической транспортировки концентрата и заканчивается смесителем X-106.

На этапе грануляции из тонкого и влажного порошка производят гранулы крупностью 1,2 мм. Участок начинается с питающего конвейера G-124 и заканчивается системой загрузки печи XV-10122/5.

На третьем этапе происходит, непосредственно, обжиг концентрата во вращающейся печи и сбор продукции в партии по 2080 кг.

## 1.2 Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата

Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата представлена на рисунке 2.

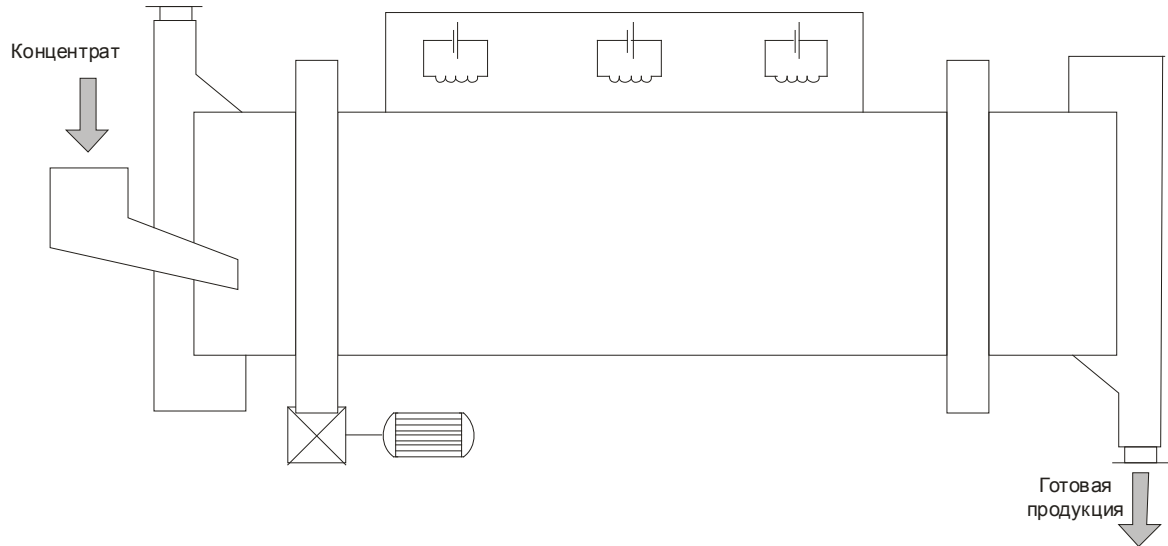


Рисунок 2 - Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата

Электропривод предназначен для вращения индукционной обжиговой печи со стабилизированной регулируемой скоростью 1~3,5 об/мин.

Масса печи  $m_{\text{п}}=5000$  кг.

Масса загружаемого сырья  $m_{\text{с}}=3000$  кг.

Редуктор имеет передаточное число  $i=750$ .

Кинематическая схема электропривода изображена на рисунке 3.

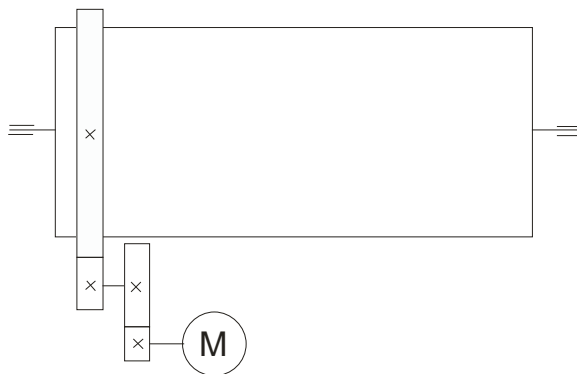


Рисунок 3 - Кинематическая схема электропривода

### 1.3 Выбор двигателя

Мощность, кВт, электродвигателя определяется по формуле [1]

$$P = \frac{aLD^3 w_{n.макс} r j k_1 k_2 k_3}{820h} = \frac{2,9 \times 1,930 \times 1^3 \times 0,367 \times 1600 \times 0,2 \times 1 \times 1}{820 \times 0,95} = 5,209 \text{ кВт}$$

где а- коэффициент, зависящий от диаметра барабана;

L- длина барабана, м;

D- диаметр барабана, м;

$w_{п.макс}$  - максимальная угловая скорость печи, рад/с;

$\rho$  - плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;

j - коэффициент заполнения муфеля;

h- КПД редуктора;

$k_1, k_2, k_3$ - коэффициенты.

Максимальная требуемая скорость вращения электродвигателя

$$n_{тр.дв.макс.} = n_{п.макс} \times i = 3,5 \times 750 = 2625 \text{ об / мин .}$$

Минимальная требуемая скорость вращения электродвигателя

$$n_{тр.дв.мин.} = n_{п.мин} \times i = 1 \times 750 = 750 \text{ об / мин .}$$

где i- передаточное число редуктора.

Требуемый момент при максимальной скорости вращения печи

$$M_{тр}^{(макс)} = \frac{P_{тр}}{w_{п.макс}} = \frac{5,209}{0,367} = 14,212 \text{ Н} \times \text{м} .$$

Предварительно выбираем двигатель мощностью  $P_{дв}=5.5$  кВт и частотой вращения  $n_{дв.0}=3000$  об/мин.

$$w_{дв.0} = \frac{2\pi n_{дв.0}}{60} = \frac{2 \times 3,14 \times 3000}{60} = 314.159 \text{ рад / с} .$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв}}{w_{дв.0}} = \frac{5,5 \times 10^3}{314.159} = 17.507 \text{ Н} \times \text{м} .$$

Для работы двигателя на минимальной скорости потребуется снижение частоты напряжения статора до уровня

$$f_{\min} = \frac{n_{\text{тр.дв.мин}} \times f_{\text{ном}}}{n_{\text{дв.0}}} = \frac{750 \times 50}{3000} = 12,5 \text{ Гц}.$$

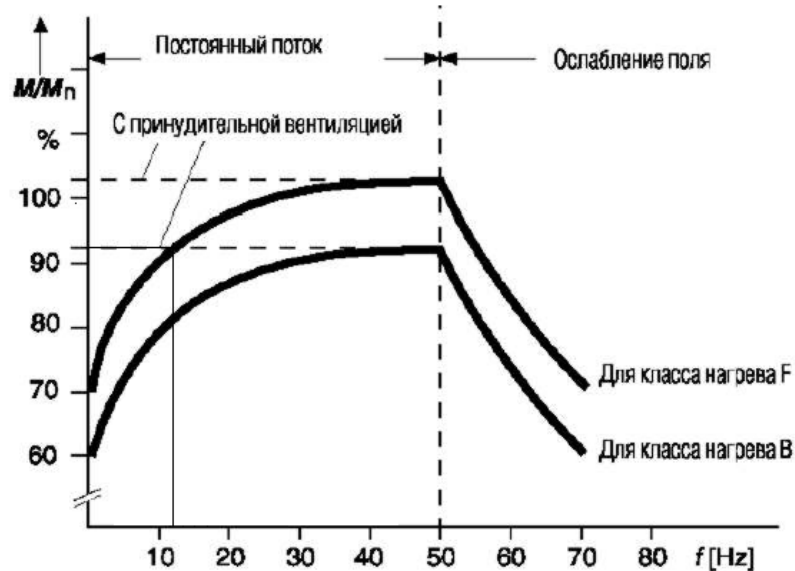


Рисунок 4 – Нагрузочная характеристика АД при частотном регулировании

При частоте  $f_{\min}=12,5$  Гц в соответствии с рис. 4 момент двигателя

$$M_{\text{дв}}^{(\min)} = 0,92 \times M_{\text{дв.н}} = 0,92 \times 17,507 = 16,106 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$M_{\text{дв}}^{(\min)} > M_{\text{тр}}$ , следовательно двигатель обеспечивает момент на минимальной скорости вращения.

#### 1.4 Расчёт параметров двигателя

Исходя из проведенного ранее расчёта выбираем конкретный тип двигателя: RA132SA; напряжение  $U_n=220$  В; масса  $m=43$  кг;  $n_n=2880$  об/мин;  $\eta=85\%$ ;  $\cos\varphi=0,89$ ;  $I_{1H}=11$  А;  $\frac{I_{1П}}{I_{1H}} = 6,5$ ;  $\frac{M_{П}}{M_H} = 2,4$ ;  $\frac{M_M}{M_H} = 3,0$ ;  $J=0,0155$  нм.

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее

простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, показанная на рисунке 5.

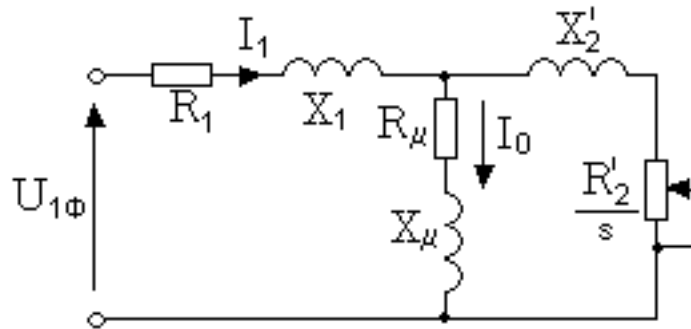


Рисунок 5 - Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\overline{U_{1\phi}} - \overline{E_1} - j \times X_1 \times \overline{I_1} = 0;$$

$$\overline{E_1} + j \times X_2' \times \overline{I_2'} + R_2' \times \overline{I_2'} / s = 0;$$

$$\overline{I_1} + \overline{I_2'} - \overline{I_0} = 0.$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих системе основных уравнений асинхронного двигателя, изображена на рисунке 6.

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя RA132SA по его каталожным данным в соответствии с методикой, изложенной в [2]. Расчеты выполним при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют  $0,02 P_n$ ;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

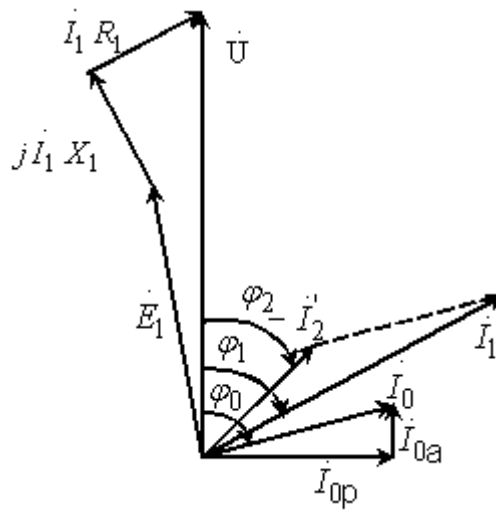


Рисунок 6 - Векторная диаграмма асинхронной машины

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{3000 - 2880}{3000} = 0.04.$$

Ток двигателя при частичной нагрузке

$$I_{чз} = \frac{k_{чз} \times P_n}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos \varphi_{чз} \times \eta_{чз}} = \frac{0,75 \times 5500}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85 \times 0,85} = 8,651 \text{ A},$$

где  $k_{чз} = 0,75$  - коэффициент частичной загрузки;

$\cos \varphi_{чз} = 0,85$  – коэффициент мощности при частичной нагрузке, определяется по рисунку 2.1 из [2].

$$\eta_{чз} = 0,85.$$

Ток холостого хода по формуле

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1чз}^2 - \frac{E_1}{E} I_{1н} \times k_{xp} \times \frac{1 - s_n}{1 - k_{чз} s_n} \frac{U}{U}^2}{1 - \frac{E}{E} k_{xp} \times \frac{1 - s_n}{1 - k_{чз} s_n} \frac{U}{U}^2}} = \sqrt{\frac{8,651^2 - \frac{E_1}{E} 1 \times 0,75 \times \frac{1 - 0,04}{1 - 0,75 \times 0,04} \frac{U}{U}^2}{1 - \frac{E}{E} 0,75 \times \frac{1 - 0,04}{1 - 0,75 \times 0,04} \frac{U}{U}^2}} = 4,217 \text{ A}.$$

Критическое скольжение определим в соответствии с формулой

$$s_{кр} = s_n \frac{\left[ \kappa_m + \sqrt{\kappa_m^2 - [1 - 2s_n b(\kappa_m - 1)]} \right]}{1 - 2s_n b(\kappa_m - 1)} = 0,04 \frac{\left[ 3 + \sqrt{3^2 - [1 - 2 \times 0,04 \times (3 - 1)]} \right]}{1 - 2 \times 0,04 \times (3 - 1)} = 0,376,$$



где  $b$  - вспомогательный коэффициент (на начальном этапе принимаем  $b=1$ , в дальнейшем  $b$  может принимать значение от 0,6 до 2,5).

Далее определяем ряд вспомогательных безразмерных коэффициентов

$$C_1 = \frac{I_0}{2k_T I_{1n}} + 1 = \frac{4,217}{2 \times 6,5 \times 1} + 1 = 1,029;$$

$$A_1 = 3U_{\phi n}^2 \frac{1 - s_n}{2C_1 \kappa_m P_n} = 3 \times 220^2 \frac{1 - 0,04}{2 \times 1,029 \times 3 \times 5500} = 4,103;$$

$$A_0 = \frac{I_{1n} \cos j_n - I_0 \cos j_0}{U_{\phi n}} = \frac{11 \times 0,89 - 4,217 \times 0,0139}{220} = 0,0142$$

$$B = \frac{1}{s_n} + \frac{1}{s_{кр}} - A_0 2 \frac{A_1}{s_n} = \frac{1}{0,04} + \frac{1}{0,376} - 0,0142 \times 2 \times \frac{4,103}{0,04} = 19,99$$

$$C = \frac{1}{s_n s_{кр}} - \frac{1}{s_{кр}^2} + \frac{1}{s_n^2} A_1 A_0 = \frac{1}{0,04 \times 0,376} - \frac{1}{0,376^2} + \frac{1}{0,04^2} \times 4,103 \times 0,0142 = -20,$$

где  $\cos j_0 = \cos 82^\circ = 0,139$  - коэффициент мощности АД в режиме холостого хода.

Теперь по найденным значениям проверяем величину заданного в начале расчёта коэффициента  $b$

$$b_p = \left| \frac{-B}{2} + \sqrt{\frac{B}{2} - C} \right| = \left| \frac{-19,99}{2} + \sqrt{\frac{19,99}{2} - (-20)} \right| = 4,518.$$

Так как  $b_p > b$ , необходимо уменьшить начальное значение коэффициента  $b$  и повторить расчёт ещё раз. Если  $b_p < b$ , необходимо увеличить начальное значение коэффициента  $b$ . За несколько итераций удаётся получить удовлетворительные результаты.

Если разница между  $b_p$  и  $b$  не превышает установленной погрешности расчёта ( $\gg 0,001$ ) можно переходить к непосредственному определению параметров машины. В результате расчёта в программе MathCAD получили значение  $b=2,336$ .

Приведённое сопротивление ротора

$$R_{\Sigma} = \frac{A_1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{s_{kp}}} = \frac{4,103}{\frac{1}{2,336} + \frac{1}{0,376}} = 0,798 \text{ Ом.}$$

Сопротивление статора

$$R_1 = C_1 R_{\Sigma} = 1,029 \times 0,798 \times 2,336 = 1,92 \text{ Ом.}$$

$$g = \sqrt{\frac{1}{s_{kp}^2} - b^2} = \sqrt{\frac{1}{0,376^2} - 2,336^2} = 1,256.$$

Полное сопротивление цепи двигателя

$$X_{\Sigma} = g C_1 R_{\Sigma} = 1,256 \times 1,029 \times 0,798 = 1,04 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление статора

$$X_1 = 0,42 x_{\Sigma} = 0,42 \times 1,04 = 0,437 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление ротора

$$X_2 = 0,58 \frac{x_{\Sigma}}{C_1} = 0,58 \frac{1,04}{1,029} = 0,586 \text{ Ом.}$$

ЭДС статорной цепи

$$E_1 = \sqrt{(U_{\phi n} \cos j_n - I_{1n} R_1)^2 + (U_{\phi n} \sin j_n - I_{1n} x_1)^2} = \\ = \sqrt{(220 \times 0,89 - 11 \times 1,92)^2 + (220 \times 0,456 - 11 \times 0,437)^2} = 203,847 \text{ В.}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{203,847}{4,217} = 48,343 \text{ Ом.}$$

Приблизительный момент инерции печи

$$J_{\Pi} = \frac{\rho l r_m}{2} (R_1^4 - R_2^4) + \frac{\rho l r_c}{2} (R_2^4 - R_3^4) = \frac{3,14 \times 1,93 \times 7600}{2} (0,5^4 + 0,49^4) + \\ + \frac{3,14 \times 1,93 \times 1600}{2} (0,49^4 + 0,438^4) = 1313 \text{ кг} \times \text{м}^2,$$

где  $R_1$  – внешний радиус печи;

$R_2$  – внутренний радиус печи;

$R_3$  – радиус распределения сырья.

Момент инерции, приведённый к валу двигателя

$$J_{\Sigma} = J_{\partial} + \frac{J_n}{i^2} = 0,0155 + \frac{1313}{750^2} = 0,018 \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

### 1.5 Расчет и построение естественной механической и электромеханических характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя определяется следующим выражением

$$M(s) = \frac{3U_{\text{л}}^2 \times R_2'}{U_0^2 \times X_{\text{эл}}^2 + R_1 + \frac{R_2'}{s} + \frac{R_1 \times R_2'}{s \times X_m^2}};$$

Естественная механическая характеристика двигателя приведена на рисунке 7.

Механическая характеристика (рисунок 7), полученная при расчетах по параметрам схемы замещения и рассчитана в программной среде Matcad, соответствует асинхронному двигателю с ненасыщенной магнитной системой, а её своеобразие определяется зависимостью индуктивного сопротивления ротора от скольжения.

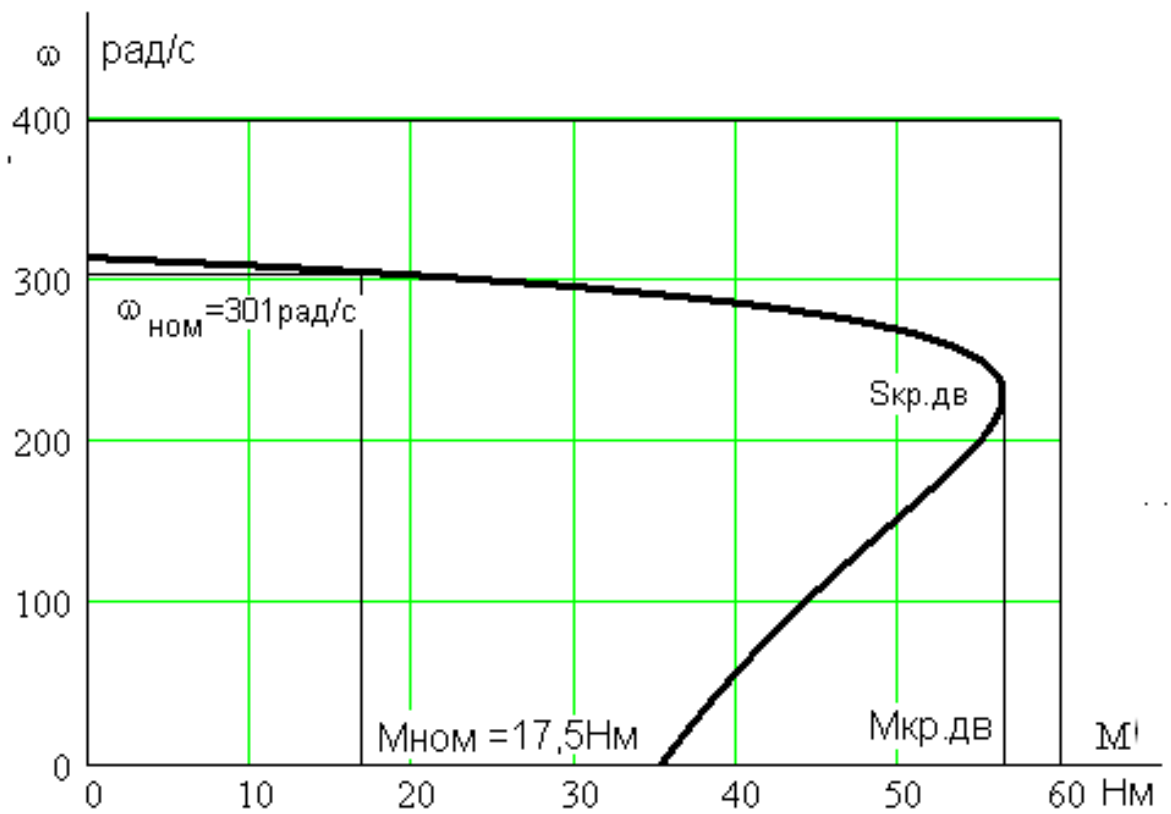


Рисунок 7 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя  $M = f(\omega)$

Выражение для расчета электромеханической характеристики, определяющей зависимость приведенного тока ротора от скольжения  $s$

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\frac{R_1}{s} + \frac{R_2'}{s} + X_{\text{эф}}^2 + \frac{R_1 R_2'}{s X_m^2}}}$$

Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя  $I_2' = f(\omega)$  приведена на рисунке 8.

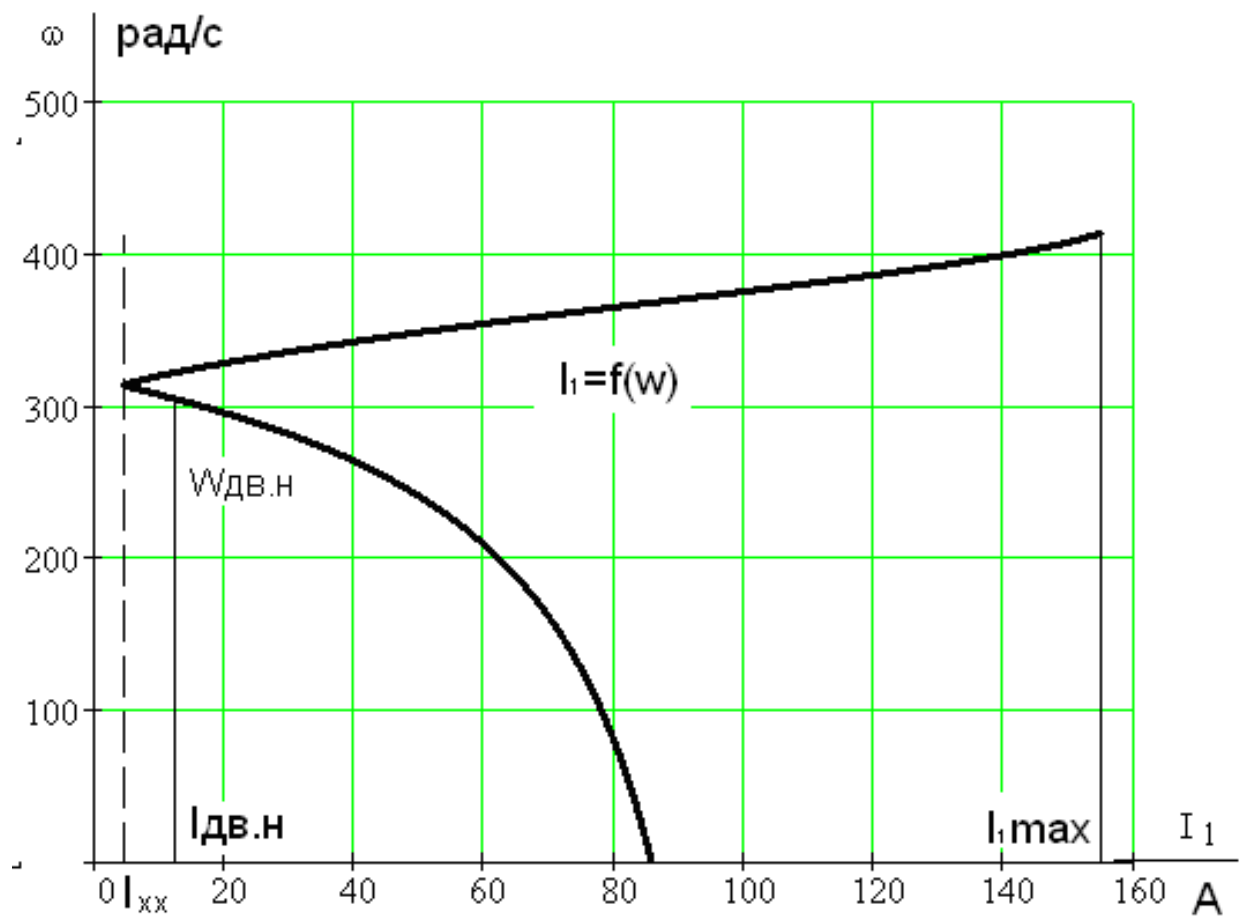


Рисунок 8 - Электромеханические характеристики  
асинхронного двигателя  $I_1 = f(\omega), I_2' = f(\omega)$

## 2. Разработка электропривода вращающейся печи

### 2.1 Функциональная схема электропривода

Функциональная схема электропривода представлена на рисунке 9

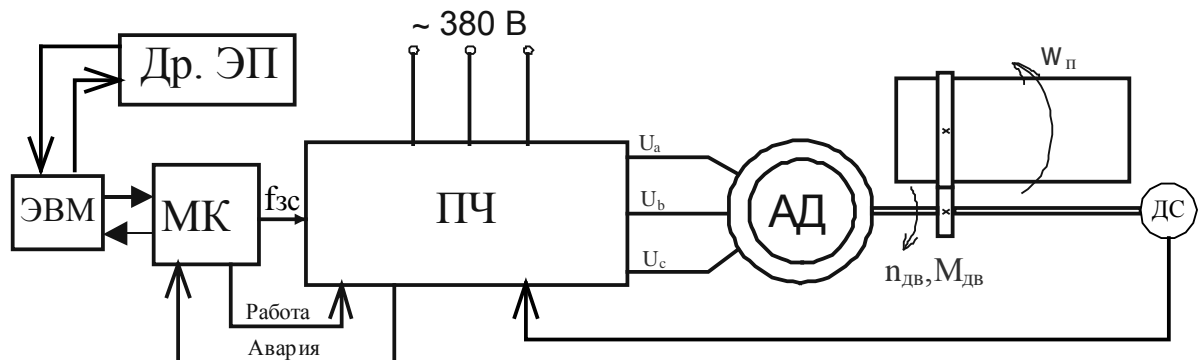


Рисунок 9 – Упрощенная функциональная схема электропривода

Функции управления ПЧ выполняет микроконтроллер, по своим параметрам и архитектуре идентичный с 8xC196МН. Функциональная схема электропривода показана на рисунке 11.

Выходы модуляторов ШИМ микропроцессорной системы через микросхемы драйверов IGBT подключаются к силовым ключам инвертора. Драйверы выполняют функции согласования между транзисторами IGBT и управляющими цепями микропроцессорной системы. Кроме того, данные устройства реализуют защитные функции, снимая управляющие импульсы с силовых ключей при пропадании питающего напряжения и перегрузках по току.

Силовой канал ПЧ собран по схеме с промежуточным звеном постоянного тока и трёхфазным инвертором напряжения. На рисунке 10 представлена соответствующая функциональная схема. Переменное напряжение трёхфазной сети, фазы А, В, С поступает на мостовой неуправляемый выпрямитель, диоды VD 1 – VD 6. Выпрямленное напряжение сглаживается электролитическим конденсатором большой ёмкости С и поступает на трёхфазный инвертор VT 1 – VT 6, ключами которого управляет микропроцессорная система. Напряжение на выходе инвертора формируется

по закону ШИМ-модуляции и поступает к статорным обмоткам АД, фазы U, V, W.

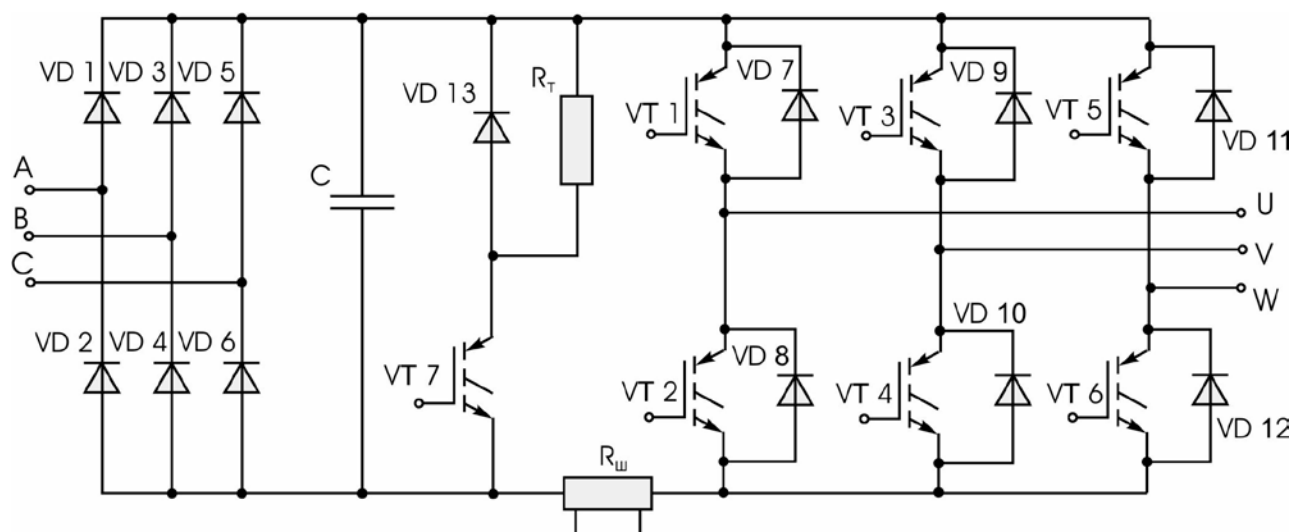


Рисунок 6- Схема силового канала ПЧ

В качестве силовых ключей инвертора используются IGBT транзисторы с высокой нагрузочной способностью. Для исключения токов ЭДС самоиндукции в моменты коммутации и устранения обратных напряжений, параллельно IGBT транзисторам включаются быстродействующие диоды VD 7 – VD 13. Шунт  $R_{ш}$  включён в силовую цепь для контроля за величиной протекающего тока и выполняет функции защиты. Кроме того, в процессе работы преобразователя происходит постоянный контроль за величиной выпрямленного напряжения.

Конструктивно все элементы преобразователя размещены на двух платах, установленных друг над другом в пластиковом корпусе. На верхней крышке расположен жидкокристаллический индикатор и пульт управления. Непосредственно под крышкой находится основная плата управления. На ней располагаются компоненты микропроцессорной системы и разъёмы для подключения дополнительных и внешних устройств.

На силовой плате размещён силовой модуль с IGBT транзисторами, драйверы, датчики тока, конденсаторы фильтра цепи выпрямленного напряжения, блок питания.

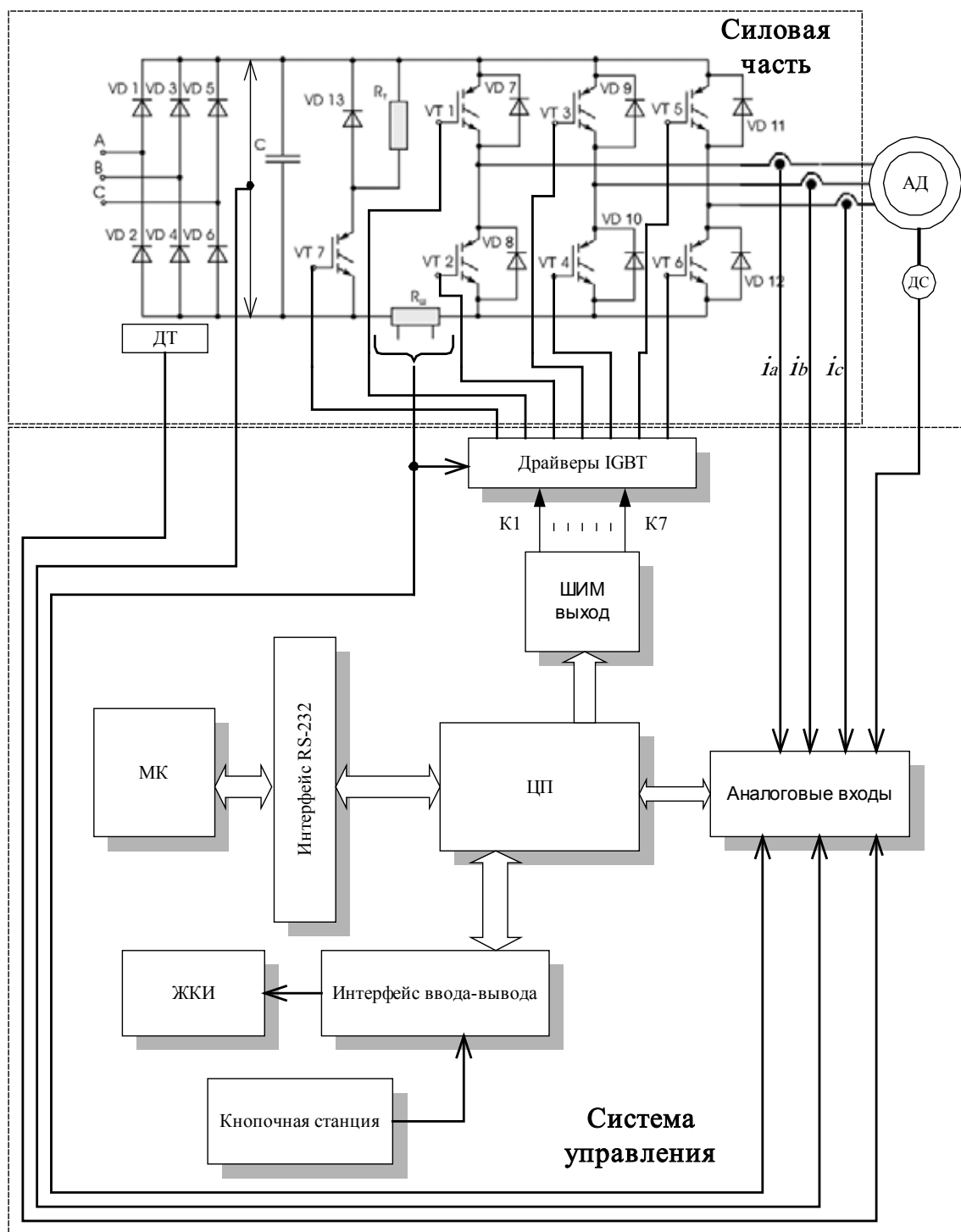


Рисунок 11– Функциональная схема преобразователя частоты

Модуль включает в себя диоды выпрямителя, IGBT транзисторы инвертора, шунт, температурный датчик и дополнительный ключ для «слива» энергии в тормозных режимах. Данный модуль соединён с теплоотводящим радиатором и находится на нижней стороне платы силовых элементов. На этом



же радиаторе размещены резистор торможения и температурный датчик для контроля за тепловым режимом.

## 2.2 Выбор преобразователя частоты

В соответствии с техническими требованиями к электроприводу и выбранным способом регулирования выбираем преобразователь частоты модели EI-9011-007-Н

Параметры данного преобразователя частоты приведены в таблице 1.

Таблица 1- Преобразователи частоты

Модель EI – 9011 -		001-Н	002-Н	003-Н	005-Н	007-Н	010-Н	015-Н	020-Н	025-Н	030-Н	040-Н	050-Н	060-Н	075-Н	100-Н	125-Н	150-Н	175-Н	200-Н	250-Н	300-Н	400-Н
Максимальная мощность применяемого двигателя, кВт		1,1	1,5	2,2	3,7	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	93	110	132	160	185	220	300
Выходные характеристики	Полная мощность преобразователя, кВА	1	2	3	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100	125	150	175	200	250	300	400
	Номинальный выходной ток, А	3,4	4,8	6,2	7,5	11,5	18	25	31	40	44	60	75	90	110	150	180	220	260	300	340	450	605
	Максимальное выходное напряжение	Трехфазное 380/400/415/440/460 В (пропорционально входному напряжению)																					
Источники питания		Вплоть до 400 Гц (достигается посредством программирования)																					
Источники питания		Трехфазное 380/400/440/460 В 50/60 Гц																					
Источники питания		Допустимые отклонения напряжения																					
Источники питания		Допустимые отклонения частоты																					
Характеристики цепи управления	Метод управления	Синусоидальная широтно-импульсная модуляция																					
	Стартовый крутящий момент	150% при 1Гц (150% при 0 об/мин с импульсным датчиком вращения)																					
	Диапазон управления скоростью	1:100 (1:1000 с использованием импульсного датчика вращения)																					
	Точность управления скоростью	± 0,2% (± 0,02% с использованием импульсного датчика вращения)																					
	Полоса пропускания ПИД-регулятора по скорости	5 Гц (30 Гц с использованием импульсного датчика вращения)																					
	Ограничение крутящего момента	Определяется уставками (по одному параметру для каждого из четырех квадрантов)																					
	Точность по моменту	± 5%																					
	Полоса пропускания ПИД-регулятора по моменту	20 Гц (40 Гц с использованием импульсного датчика вращения)																					
	Диапазон управления частотой	от 0,1 до 400 Гц																					
	Точность частотных режимов	Цифровая команда: ±0,01% (от - 10°C до +40°C) Аналоговая команда: ±0,1% (25°C ± 10°C)																					
	Разрешение по частоте	Опорный цифровой сигнал: ± 0,01 Гц Опорный аналоговый сигнал: ±0,03 Гц / 60 Гц (11 бит + код)																					
	Разрешение по частоте	0,01 Гц																					
	Запас по перегрузке	150% от номинального выходного тока 1 минуту																					
	Сигнал задания частоты	от - 10 до 10 В, от 0 до 10 В, от 4 до 20 мА																					
	Время разгона/торможения	от 0,01 до 3 600 с (Времена разгона/торможения имеют независимые уставки, возможны 4 ступени)																					
	Тормозящий крутящий момент	Порядка 20% (с тормозным резистором - примерно 125%)*																					
		Тормозной прерыватель встроен (11 кВт и менее)					Тормозной прерыватель может быть встроен или использован внешний (от 15 кВт до 160 кВт включительно)										Внешний тормозной прерыватель						

## Продолжение таблицы 1- Преобразователи частоты

Защитные функции	Защита электродвигателя от перегрузки	Защищен с помощью электронного термического реле перегрузки
	Мгновенная перегрузка по току	Электродвигатель инерционно останавливается примерно при 200% от номинального тока преобразователя
	Защита плавкими предохранителями	При нарушении предохранителей электродвигатель инерционно останавливается
	Перегрузка	Электродвигатель начинает инерционно останавливаться через минуту работы при 150% от номинального тока преобразователя
	Перенапряжение	Электродвигатель инерционно останавливается, если напряжение на шине постоянного тока превышает 820 В
	Недостаточное напряжение	Электродвигатель инерционно останавливается, если напряжение на шине постоянного тока $\leq 380$ В
	Кратковременное отключение питания	Немедленное отключение при кратковременном прекращении подачи питания на 15 мс (заводская уставка) и более. Предусмотрена возможность продолжения управления при прекращении подачи питания на 2 с и менее.
	Перегрев радиатора-теплоотвода	Защищен термистором
	Предотвращение срыва	Предотвращение срыва во время разгона/торможения и вращения с постоянной скоростью
	Защита от токов утечек	Защищен электронной цепью (нарушение баланса выходных токов)
	Световой индикатор "Заряд"	Световой индикатор "Заряд" горит, пока напряжение шины не упадет ниже 50 В
	Температура окружающей среды	- 10°... + 40°С (в пластмассовом корпусе) и - 10°... + 45°С (в металлическом корпусе)
Окружающая среда	Влажность	Относительная влажность не более 90%
	Температура хранения	от - 20°С до + 60°С
	Размещение	Внутри помещения, защищенного от коррозионных газов и пыли
	Высотность	Не более 1000 м

### Расшифровка маркировки преобразователя:

EI – 9011

- 007

- H

Серия  
преобразователя  
частоты

Полная мощность  
преобразователя  
007 = 7,5 кВА

Напряжение  
питания ~380 В

### 3. Расчёт параметров оптимальной настройки системы

#### 3.1 Структурная схема векторного управления системы

##### преобразователь частоты – асинхронный двигатель

Термин векторное управление означает, что переменные контролируются не только по амплитуде но и по фазе. Суть метода состоит в раздельном управлении компонентами вектора тока статора  $i_{sq}$  и  $i_{sd}$ , являющимися проекциями результирующего вектора  $i_1$  на вращающиеся векторы  $\mathbf{q}$  и  $\mathbf{d}$  координатной системы, связанной с вектором потокоосцепления ротора  $\mathbf{Y}_r$ . Известно, что электромагнитный момент асинхронного двигателя пропорционален потокоосцеплению ротора  $\mathbf{Y}_r$  и составляющей тока статора по оси  $\mathbf{q}$ . Если поддерживать неизменным потокоосцепление ротора путём регулирования составляющей тока статора по оси  $\mathbf{d}$ , то момент двигателя будет прямо пропорционален току  $i_{sq}$ , так, как и в обычных коллекторных двигателях постоянного тока. Соответственно изменение составляющей  $i_{sd}$  эквивалентно регулированию частоты вращения двигателя постоянного тока при изменении магнитного потока. Обозначения, принятые на схеме:

ЗИ – задатчик интенсивности;

Ф – фильтр;

РПС – регулятор потокоосцепления;

РС – регулятор скорости;

РТ <sub>$i_{sx}$</sub>  - регулятор тока  $i_{sx}$ ;

РТ <sub>$i_{sy}$</sub>  - регулятор тока  $i_{sy}$ ;

БР – блок развязки;

ПКП – прямой координатный преобразователь;

ОКП – обратный координатный преобразователь;

Идеал. ПЧ – идеализированный преобразователь частоты.

Полная структурная схема представлена в графической части.

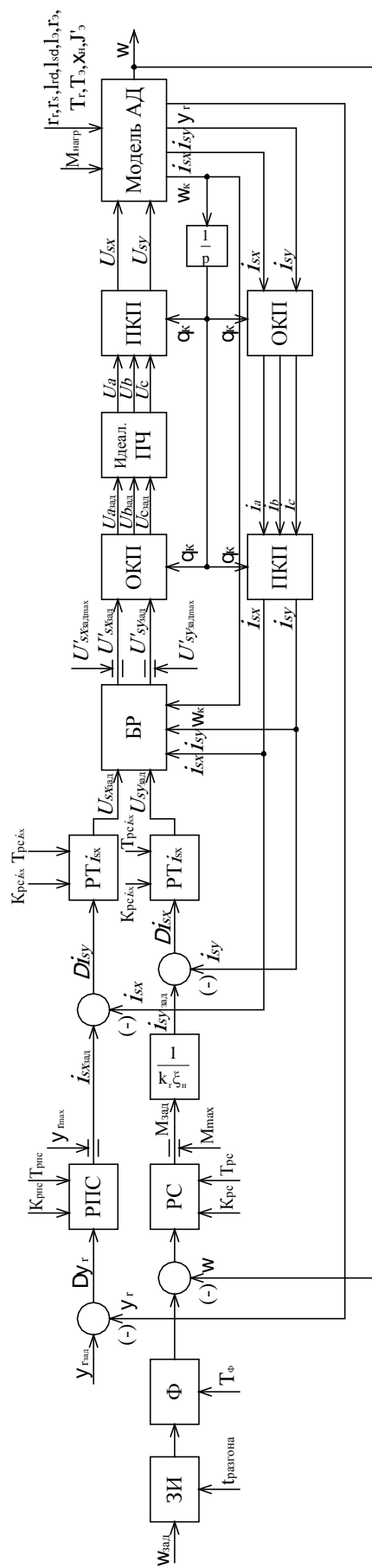


Рисунок 8 – Сокращённая структурная схема системы векторного управления асинхронным электроприводом с однозонным регулированием скорости

### 3.1.1 Модель асинхронного двигателя

Модель с ориентацией системы координат по вектору потокосцеплений ротора. Структурная схема модели асинхронного двигателя построена на системе уравнений [4]

$$U_s = L_\sigma p I_s + (R_\sigma + w_k B L_\sigma) I_s + (w_k B - k_r a_r + p k_r) y_r;$$

$$k_r R_r I_s = p y_r + (a_r + b_k B) y_r;$$

$$y_m + L_{r\sigma} I_m = y_r + C L_{r\sigma} I_s;$$

$$y_m = F_m I_m;$$

$$b_k = p(q_k - q);$$

$$I_s^{Fs} = A_s^{-1} I_s.$$

При допущении  $l_m = \text{const}$  структурная схема модели значительно упрощается и приобретает вид, представленный на рисунке 9.

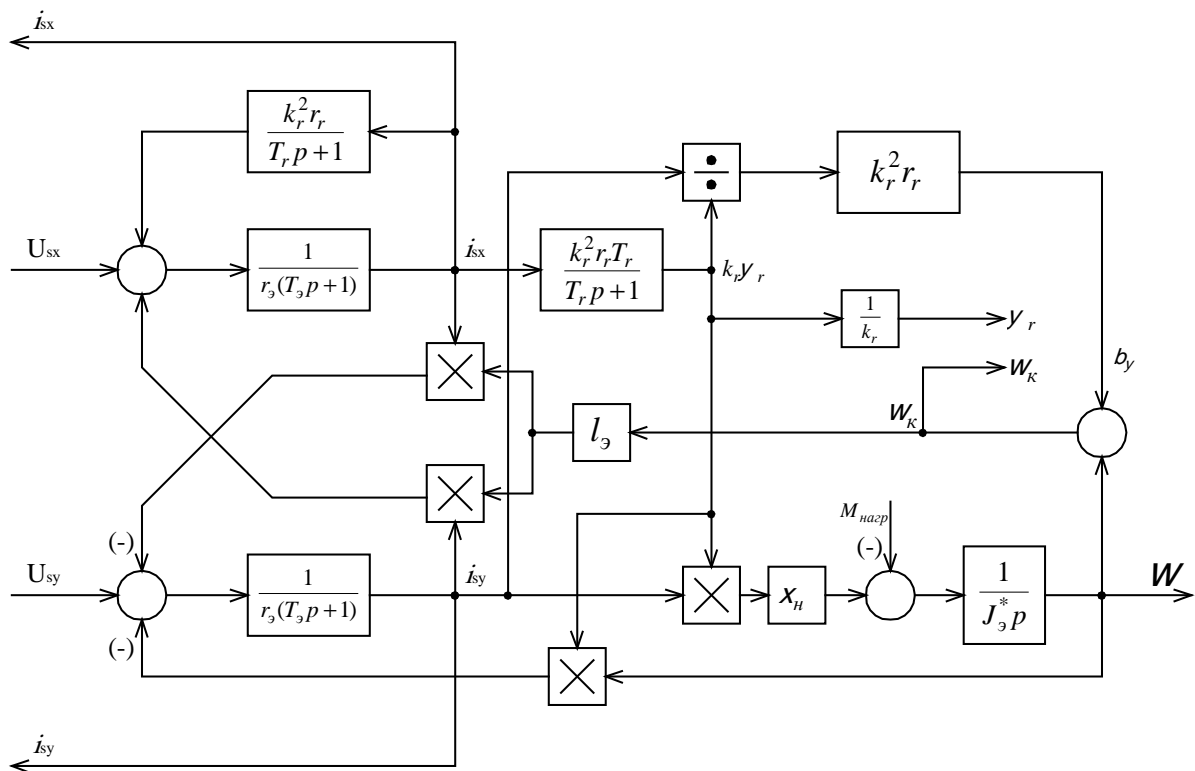


Рисунок 9 – Структурная схема модели асинхронного двигателя

Расчёт параметров модели [4]

$$k_r = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} = \frac{2,417}{2,417 + 0,029} = 0,988;$$

$$r_{\vartheta} = r_s + k_r^2 r_r = 0,096 + 0,988^2 \times 0,04 = 0,135;$$

$$T_{\vartheta} = \frac{l_{ss} + k_r l_{rs}}{r_s + k_r^2 r_r} = \frac{0,022 + 0,988 \times 0,029}{0,096 + 0,988^2 \times 0,04} = 0,376;$$

$$T_r = \frac{l_m + l_{rs}}{r_r} = \frac{2,417 + 0,029}{0,04} = 61,315;$$

$$l_{\vartheta} = l_{ss} + k_r l_{rs} = 0,022 + 0,988 \times 0,029 = 0,051;$$

$$X_H = \frac{1}{\cos j_H - \frac{I_{1H} R_1}{U_{1H}}} = \frac{1}{0,89 - \frac{11 \times 1,92}{220}} = 1,259.$$

Полезно отметить, что постоянные времени  $T_{\vartheta}$  и  $T_r$  имеют такой же физический смысл и примерно те же величины, что и электромагнитные постоянные времени цепей якоря и возбуждения компенсированных машин постоянного тока.

### 3.1.2 Прямой преобразователь координат

Преобразователь координат служит для преобразования векторов  $U_{sa}$ ,  $U_{sb}$ ,  $U_{sc}$  в вектора  $U_{sx}$  и  $U_{sy}$ .

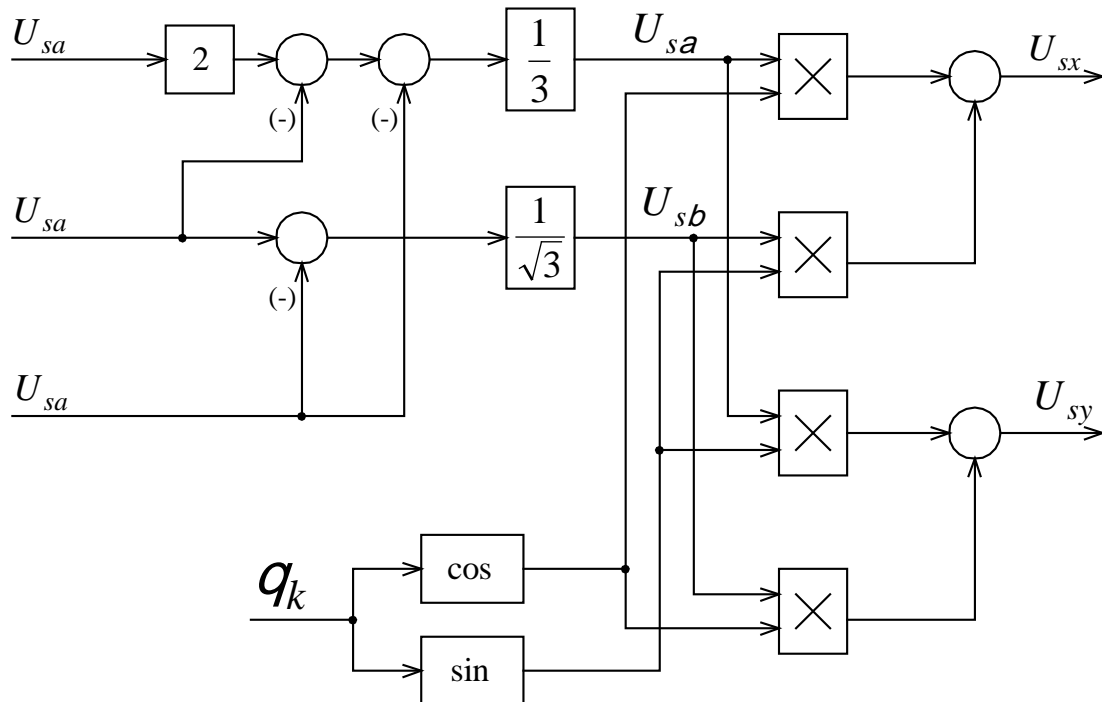


Рисунок 10 – структурная схема прямого преобразователя координат

Прямой преобразователь координат описывается уравнениями

$$U_{sa} = \frac{1}{3}(2U_{sa} - U_{sb} - U_{sc});$$

$$U_{sb} = \frac{1}{3}(U_{sb} - U_{sc}).$$

$U_{sa}, U_{sb}$  – напряжения, представленные в неподвижной “двухфазной” системе координат.

$$U_{sx} = U_{sa} \cos q_k + U_{sb} \sin q_k;$$

$$U_{sy} = U_{sb} \cos q_k + U_{sa} \sin q_k.$$

$U_{sx}, U_{sy}$  – напряжения, представленные во вращающейся системе координат,  $q_k$  – угол поворота координатной системы.

### 3.1.3 Обратный преобразователь координат

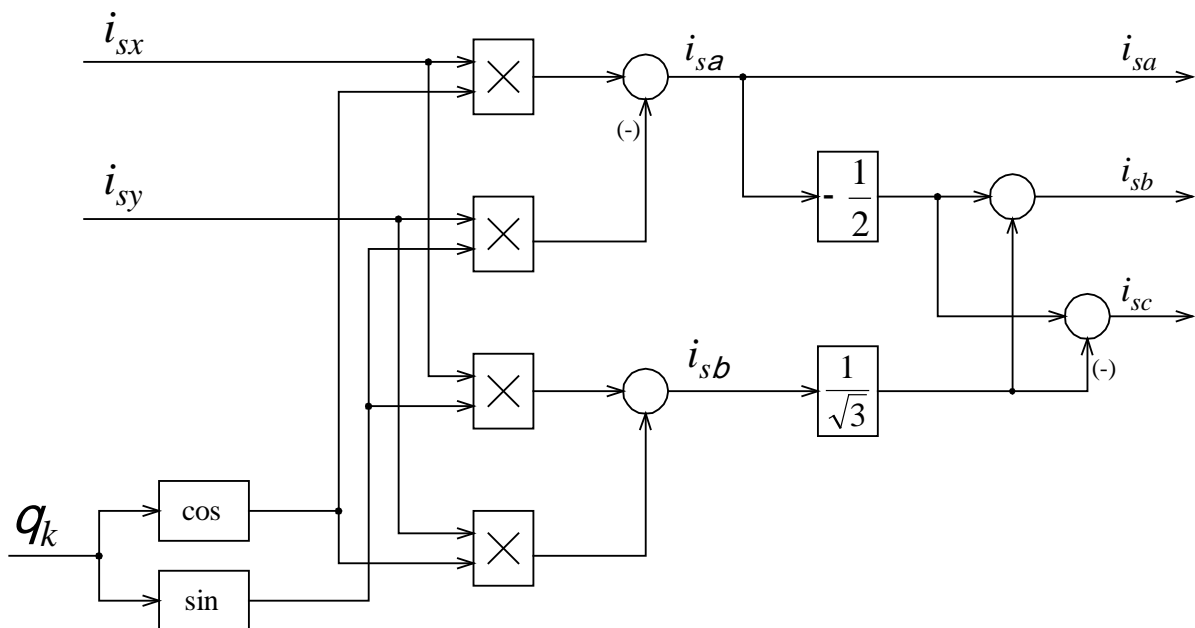


Рисунок 11 – Структурная схема обратного координатного преобразователя

Обратный преобразователь координат описывается уравнениями

$$i_{sa} = i_{sx} \cos q_k - i_{sy} \sin q_k;$$

$$i_{sb} = i_{sx} \sin q_k + i_{sy} \cos q_k.$$

$i_{sa}, i_{sb}$  – напряжения, представленные в неподвижной “двухфазной” системе координат.

$$i_{sa} = i_{sa};$$

$$i_{sa} = -\frac{1}{2}i_{sa} + \frac{\sqrt{3}}{2}U_{sb};$$

$$i_{sc} = -\frac{1}{2}i_{sa} - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{sb}.$$

$i_{sa}, i_{sb}, i_{sc}$  – токи в трёхфазной системе координат.

### 3.1.4 Идеализированный преобразователь частоты

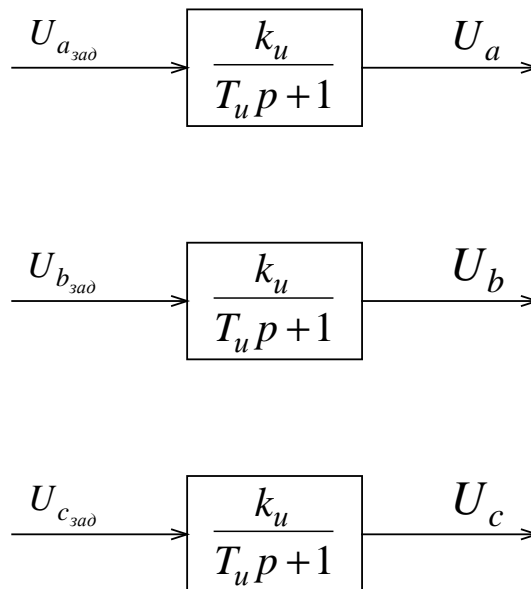


Рисунок 12 – Структурная схема идеализированного преобразователя частоты

$k_{и}$  – коэффициент передачи инвертора.

Для системы относительных единиц  $k_{и}=1$ .

$T_{и}$  – постоянная времени инвертора. Определяется несущей частотой коммутации транзисторов ( $f_{н}=5$  кГц) с учётом относительного времени ( $t_{\delta}=1/314.15$  с)

$$T_u = \frac{1}{f_n} t_{\delta} = \frac{1}{5000} \times 314,15 = 0,063.$$



### 3.1.5 Блок развязки

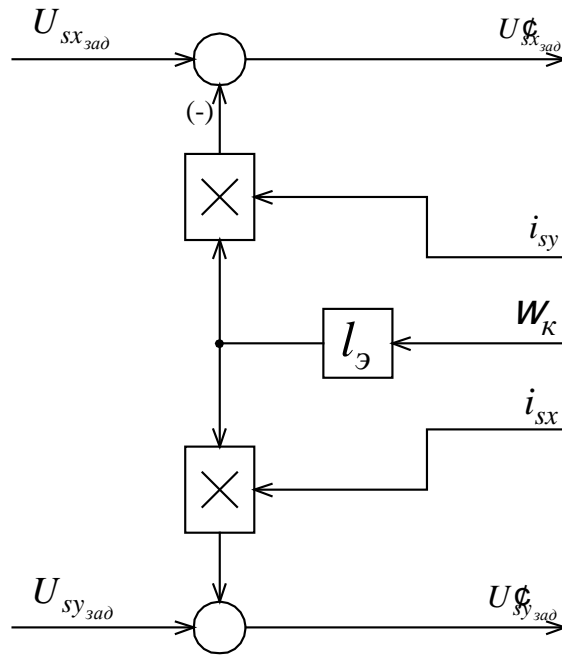


Рисунок 13 – Структурная схема блока развязки

Блок развязки позволяет компенсировать влияние перекрёстных обратных связей в модели асинхронного двигателя. В результате получаем автономное регулирование составляющих тока статора  $i_{sx}$  и  $i_{sy}$ .

### 3.2 Система относительных единиц

В дальнейшем все параметры и переменные состояния электропривода представляются в относительных единицах.

Обобщённая формула перехода к относительным единицам имеет вид

$$y = \frac{Y}{Y_6},$$

где  $Y$  – значение физической величины (параметра, воздействия, переменной состояния и др.) в исходной системе единиц;

$Y_6$  – базисное значение, выраженное в той же исходной системе и принятое в качестве единицы измерения величины  $Y$  в системе относительных единиц;

$y$  – значение величины в системе относительных единиц.

Для относительных значений угловой частоты напряжения и тока статора  $w_s = W_s / W_6$ , действующего значения фазного напряжения статора  $u_s = U_s / U_6$ , тока статора  $i_s = I_s / I_6$  и относительной величины электромагнитного момента  $m_s = M / M_6$  базисными примем из значения в точке номинального режима двигателя:

$$W_6 = W_{s.H} = 2\pi f_{s.H} = 2 \times 3,1415 \times 50 = 314 \text{ об / мин};$$

$$U_6 = U_{s.H} = 220 \text{ В};$$

$$I_6 = I_{s.H} = 11 \text{ А};$$

$$M_6 = M_{эм.н} = \frac{P_{эм.н}}{W_{0.н}} = \frac{6229,08}{3000} = 19,828 \text{ Н} \times \text{м},$$

где  $P_{эм}$  – электромагнитная мощность идеализированного АД

$$P_{эм.н} = 3U_{s.H} I_{s.H} \cos j_n - I_{s.H}^2 R_1 = 3 \times 220 \times 11 \times 0,89 - 11^2 \times 1,92 = 6229,08 \text{ Вт};$$

$W_{0.н}$  – частота вращения магнитного поля АД

$$W_{0.н} = \frac{W_6}{z_p} = \frac{314,15}{1} = 314,15 \text{ рад / с}.$$

Момент инерции в относительных единицах

$$J_{\phi} = \frac{J_{\phi}}{J_6} = \frac{0,018}{2,104 \times 10^{-5}} = 847,634,$$

где  $J_6$  – базовый момент инерции

$$J_6 = \frac{M_6 T_6 z_p}{W_6} = \frac{19,828 \times 3,183 \times 10^{-3}}{3000} = 2,104 \times 10^{-5} \text{ кг} \times \text{м}^2.$$

Переведем значения параметров двигателя в систему относительных единиц.

Сопротивление обмотки статора

$$r_s = \frac{R_1}{Z_6} = \frac{1,92}{20} = 0,096$$

Сопротивление обмотки ротора

$$r_r = \frac{R_{\Sigma}}{Z_{\Sigma}} = \frac{0,798}{20} = 0,04$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$l_m = \frac{X_m}{Z_{\Sigma}} = \frac{48.343}{20} = 2.417$$

Индуктивное сопротивление статора

$$l_{ss} = \frac{X_1}{Z_{\Sigma}} = \frac{0,437}{20} = 0.022$$

Индуктивное сопротивление ротора

$$l_{rs} = \frac{X_2}{Z_{\Sigma}} = \frac{0,586}{20} = 0.029$$

Произведём проверку правильности расчёта. Для этого воспользуемся квадратным уравнением

$$A \times s_n^2 + B \times s_n + C = 0,$$

где

$$A = r_r^{-2} \left[ (r_s^2 - 1)(1 + l_{rs} l_m)^2 + (l_{ss} + l_{rs} + l_{ss} l_{rs} l_m^{-1})^2 \right] =$$

$$= 0,029^{-2} \left[ (0,096^2 - 1)(1 + 0,029 \times 2,417)^2 + (0,022 + 0,029 + \frac{0,022 \times 0,029}{2,417})^2 \right] = -635,867$$

$$B = 2r_s r_r^{-1} = 2 \times 0,096 \times 0,04 = 4,812$$

$$C = l_m^{-2} (r_s^2 + (l_m + l_{ss})^2 - 1) = 2,417^{-2} (0,096^2 + (2,417 + 0,022)^2 - 1) = 0,849$$

Решая квадратное уравнение, получим  $s_n = 0,042$ , следовательно расчёт произведён верно.

### 3.3 Контур тока $i_{sx}$

Регулятор тока  $i_{sx}$  имеет структуру ПИ-регулятора

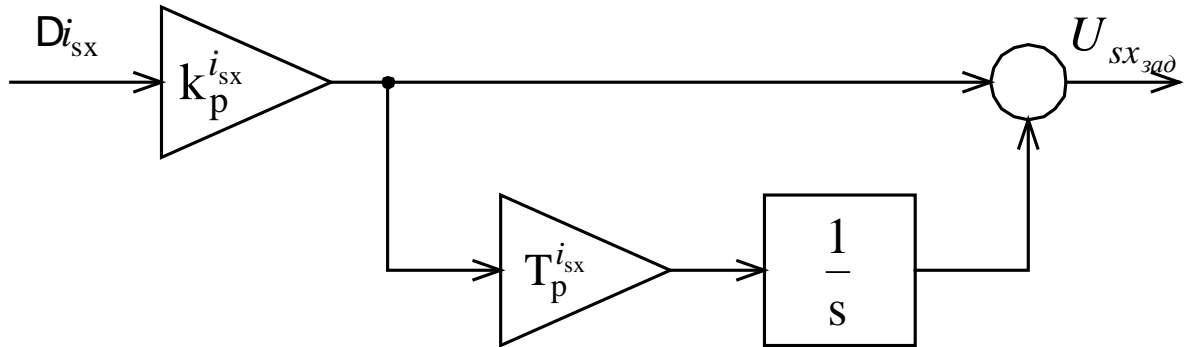


Рисунок 14 – ПИ регулятор тока

Параметры регулятора определяются исходя из свойств объекта регулирования контура тока  $i_{sx}$  с учётом настройки на модульный оптимум.

Структурная схема контура тока  $i_{sx}$  представлена на рисунке 15.

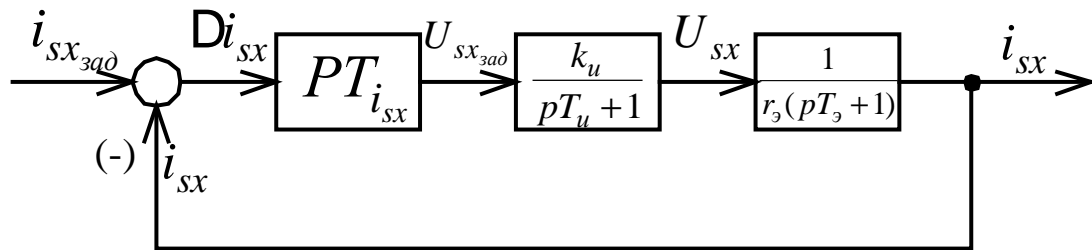


Рисунок 15 – Структурная схема контура тока  $i_{sx}$

Передаточная функция регулятора тока  $i_{sx}$

$$W_p^{i_{sx}} = \frac{r_\phi(pT_\phi + 1)(pT_u + 1)}{p^2 T_m^{i_{sx}} (pT_m^{i_{sx}} + 1) k_u}.$$

Принимаем  $T_m^{i_{sx}} = T_u = 0,063$  с, тогда

$$W_p^{i_{sx}} = \frac{r_\phi(pT_\phi + 1)(pT_u + 1)}{p^2 T_m^{i_{sx}} (pT_m^{i_{sx}} + 1) k_u} = \frac{r_\phi(pT_\phi + 1)}{p^2 T_u k_u} = \frac{r_\phi T_\phi}{2T_u k_u} \times \frac{(pT_\phi + 1)}{pT_\phi}.$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора тока

$$k_p^{i_{sx}} = \frac{r_\phi T_\phi}{2T_u k_u} = \frac{0,135 \times 0,376}{2 \times 0,063 \times 1} = 0,403;$$

$$T_p^{i_{sx}} = T_\phi = 0,376.$$

### 3.4 Контур тока $i_{sy}$

Регулятор тока  $i_{sy}$  имеет структуру ПИ-регулятора, идентичную регулятору  $i_{sx}$ . Параметры определяются исходя из свойств объекта регулирования контура тока  $i_{sy}$  (пренебрегаем влиянием обратной связи по ЭДС) с учётом настройки на модульный оптимум.

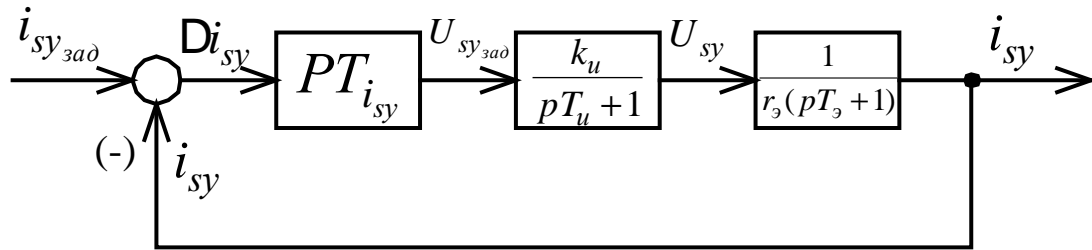


Рисунок 16 – Структурная схема контура тока  $i_{sy}$

Передаточная функция регулятора тока  $i_{sy}$

$$W_p^{i_{sy}} = \frac{r_3(pT_3 + 1)(pT_u + 1)}{p^2 T_m^{i_{sy}} (pT_m^{i_{sy}} + 1) k_u}.$$

Принимаем  $T_m^{i_{sy}} = T_u$ , тогда

$$W_p^{i_{sy}} = \frac{r_3(pT_3 + 1)(pT_u + 1)}{p^2 T_m^{i_{sy}} (pT_m^{i_{sy}} + 1) k_u} = \frac{r_3(pT_3 + 1)}{p^2 T_u k_u} = \frac{r_3 T_3}{2 T_u k_u} \times \frac{(pT_3 + 1)}{pT_3}.$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора тока

$$k_p^{i_{sy}} = \frac{r_3 T_3}{2 T_u k_u} = \frac{0,135 \times 0,376}{2 \times 0,063 \times 1} = 0,403;$$

$$T_p^{i_{sy}} = T_3 = 0,376.$$

### 3.5 Контур потокосцепления

Регулятор потокосцепления РПС ротора  $Y_r$  имеет структуру ПИ-регулятора. Параметры регулятора определяются исходя из объекта регулирования контура потокосцепления с учётом настройки на модульный оптимум.

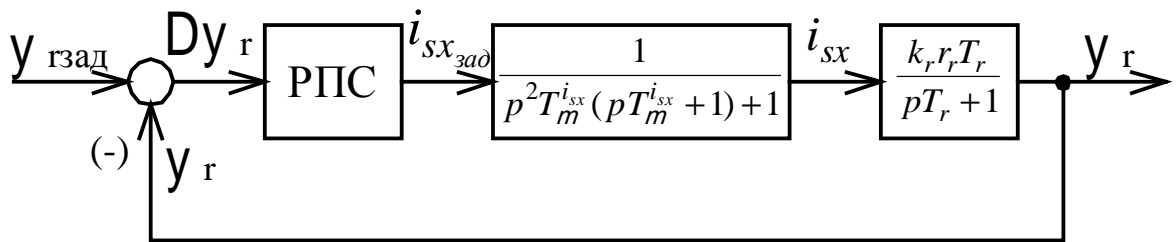


Рисунок 17 – Структурная схема контура потокосцепления

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления

$$k_p^{Y_r} = \frac{1}{4T_u k_r r_r} = \frac{1}{4 \times 0.063 \times 0.988 \times 0.04} = 100.41;$$

$$T_p^{Y_r} = T_r = 61.315.$$

### 3.6 Контур скорости

Регулятор скорости РС имеет структуру типа ПИ. Параметры определяются свойствами объекта регулирования контура скорости с учётом настройки на симметричный оптимум и наличием входного фильтра.

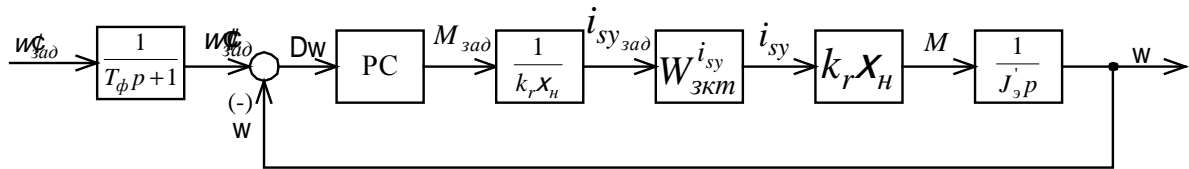


Рисунок 18 – Структурная схема контура скорости

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости

$$k_r^w = \frac{26 \times J_{\phi}}{512 \times T_u} = \frac{26 \times 847,634}{512 \times 0,063} = 683,237;$$

$$T_r^w = 26T_u = 26 \times 0,063 = 1,638.$$

Постоянная времени фильтра

$$T_{\phi} = T_r^w = 26T_u = 26 \times 0,063 = 1,638.$$

### 3.7 Ожидаемые параметры функционирования электропривода

#### 3.7.1 Контур тока

Полоса пропускания контура тока  $i_{sx}$

$$f_{n i_{sx}}^{(M)} = f_{n i_{sx}}^{(\phi)} = \frac{0,71}{2\rho T_{m i_{sx}}} = \frac{0,71}{2\rho T_{m i_u}} = \frac{0,71}{2 \times 3,14 \times 0,063} = 1,8.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n i_{sx}}^{(M)} = F_{n i_{sx}}^{(\phi)} = f_{n i_{sx}}^{(M)} / t_{\sigma} = 1,8 \times 314,15 = 565,47 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания контура тока  $i_{sy}$

$$f_{n i_{sy}}^{(M)} = f_{n i_{sy}}^{(\phi)} = \frac{0,71}{2\rho T_{m i_{sy}}} = \frac{0,71}{2\rho T_u} = \frac{0,71}{2 \times 3,14 \times 0,063} = 1,8.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n i_{sy}}^{(M)} = F_{n i_{sy}}^{(\phi)} = f_{n i_{sy}}^{(M)} \times \sigma = 1,8 \times 314,15 = 565,47 \text{ Гц}.$$

Перерегулирование

$$s^{i_{sx}} = s^{i_{sy}} = 4,3\%.$$

Время переходного процесса

$$t_{py1}^{i_{sx}} = t_{py2}^{i_{sx}} = t_{py1}^{i_{sy}} = t_{py2}^{i_{sy}} = 4,1 T_m^{i_{sx}} = 4,1 T_u = 4,1 \times 0,063 = 0,2583.$$

В абсолютных единицах

$$T_{py1}^{i_{sx}} = T_{py2}^{i_{sx}} = T_{py1}^{i_{sy}} = T_{py2}^{i_{sy}} = t_{py1}^{i_{sx}} \times \sigma = 0,2583 / 314,15 = 8,22 \times 10^{-4} \text{ с}.$$

#### 3.7.2 Контур потокосцепления

Полоса пропускания контура по модулю

$$f_{n \psi}^{(M)} = \frac{1}{2\rho T_{m \psi}} = \frac{1}{4\rho T_{m i_{sx}}} = \frac{1}{4\rho T_u} = \frac{1}{4 \times 3,14 \times 0,063} = 1,26.$$

В абсолютных единицах



$$F_{n \ y}^{(M)} = f_{n \ y}^{(M)} \times \delta = 1,26 \times 314,15 = 395,841 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания контура по фазе

$$f_{n \ y}^{(\phi)} = \frac{0,72}{2\rho T_{m \ y}} = \frac{0,72}{4\rho T_{m \ i_{sx}}} = \frac{0,72}{4\rho T_u} = \frac{0,72}{4 \times 3,14 \times 0,063} = 0,91.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n \ y}^{(\phi)} = f_{n \ y}^{(\phi)} \times \delta = 0,91 \times 314,15 = 285,885 \text{ Гц}.$$

Перерегулирование

$$s^y = 8,1\%.$$

Время переходного процесса

$$t_{py1}^y = 3.5T_m^y = 7T_m^{i_{sx}} = 7T_u = 7 \times 0,063 = 0,441;$$

$$t_{py2}^y = 6T_m^y = 12T_m^{i_{sx}} = 12T_u = 12 \times 0,063 = 0,756.$$

В абсолютных единицах

$$T_{py1}^y = t_{py1}^y \times \delta = 0,441 / 314,15 = 1,4 \times 10^{-3} \text{ с}.$$

$$T_{py2}^y = t_{py2}^y \times \delta = 0,756 / 314,15 = 2,41 \times 10^{-3} \text{ с}$$

### 3.7.3 Контур скорости

Полоса пропускания контура по модулю

$$f_{n \ w}^{(M)} = \frac{0,5}{2\rho T_{m \ w}} = \frac{0,5}{16\rho T_{m \ i_{sx}}} = \frac{1}{32\rho T_u} = \frac{1}{32 \times 3,14 \times 0,063} = 0,158.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n \ w}^{(M)} = f_{n \ w}^{(M)} \times \delta = 0,158 \times 314,15 = 49,64 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания контура с по фазе

$$f_{n \ w}^{(\phi)} = \frac{0,36}{2\rho T_{m \ w}} = \frac{0,36}{16\rho T_{m \ i_{sy}}} = \frac{0,09}{4\rho T_u} = \frac{0,09}{4 \times 3,14 \times 0,063} = 0,114.$$

В абсолютных единицах

$$F_{nw}^{(\phi)} = f_{nw}^{(\phi)} \times \sigma = 0,144 \times 314,15 = 45,239 \text{ Гц}.$$

Перерегулирование

$$s^w = 8,1\%.$$

Время переходного процесса

$$t_{py1}^w = 7T_m^w = 56T_m^{i_{sy}} = 56T_u = 56 \times 0,063 = 3,528;$$

$$t_{py2}^w = 12T_m^w = 96T_m^{i_{sy}} = 96T_u = 96 \times 0,063 = 6,048.$$

В абсолютных единицах

$$T_{py1}^w = t_{py1}^w \times \sigma = 3,528 / 314,15 = 1,123 \times 10^{-2} \text{ с}.$$

$$T_{py2}^w = t_{py2}^w \times \sigma = 6,048 / 314,15 = 1,925 \times 10^{-2} \text{ с}$$

## 4. Имитационное моделирование

На основании структурной схемы электропривода (рисунок 8) строим модель двигателя в пакете MATLAB Simulink 4. Исследуемая модель электропривода является линеаризованной.

### 4.1 Логарифмические амплитудно – частотные характеристики

#### 4.1.1 Контур тока $i_{sx}$

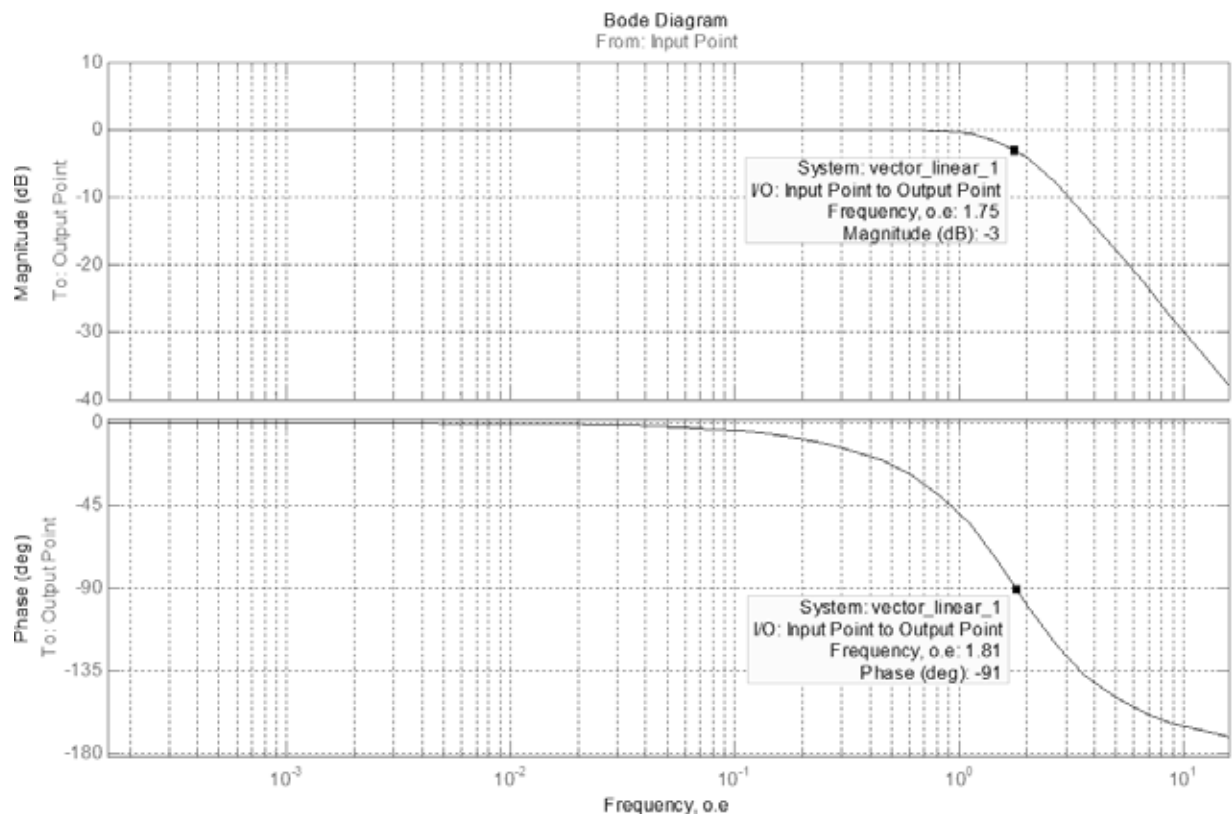


Рисунок 19 – ЛАЧХ контура тока  $i_{sx}$

Полоса пропускания по модулю  $f_n^{(M)} = 1,75$ .

В абсолютных единицах

$$F_n^{(M)} = f_n^{(M)} \times \omega_0 = 1,75 \times 314,15 = 549,779 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания по фазе  $f_n^{(\phi)} = 1,79$ .

В абсолютных единицах

$$F_n^{(\phi)} = f_n^{(\phi)} \times \omega_0 = 1,79 \times 314,15 = 562,35 \text{ Гц}.$$

#### 4.1.2 Контур тока $i_{sy}$

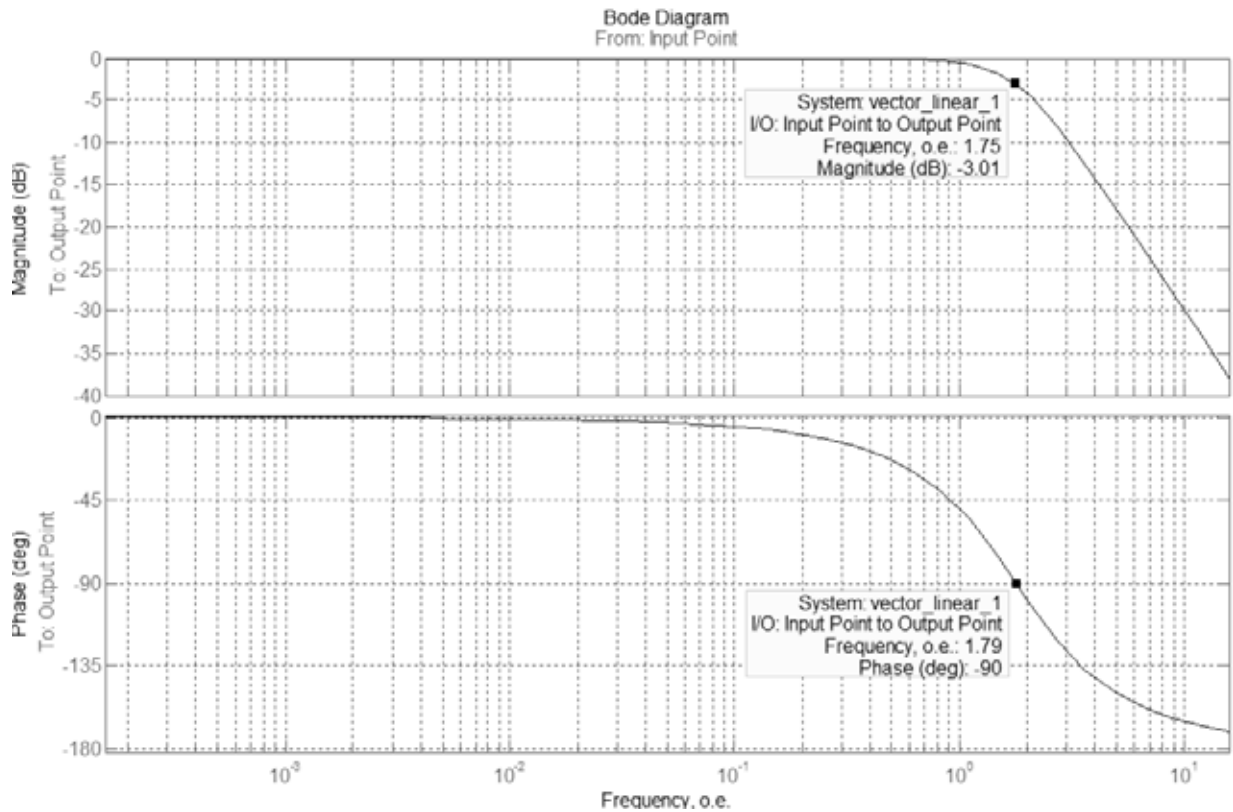


Рисунок 20 – ЛАЧХ контура тока  $i_{sy}$

Полоса пропускания по модулю  $f_n^{(M)} = 1,75$ .

В абсолютных единицах

$$F_{n i_{sy}}^{(M)} = f_{n i_{sy}}^{(M)} \times \tau_{\delta} = 1,75 \times 314,15 = 549,779 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания по фазе  $f_n^{(\phi)} = 1,79$ .

В абсолютных единицах

$$F_{n i_{sy}}^{(\phi)} = f_{n i_{sy}}^{(\phi)} \times \tau_{\delta} = 1,79 \times 314,15 = 562,35 \text{ Гц}.$$

### 4.1.3 Контур потокосцепления

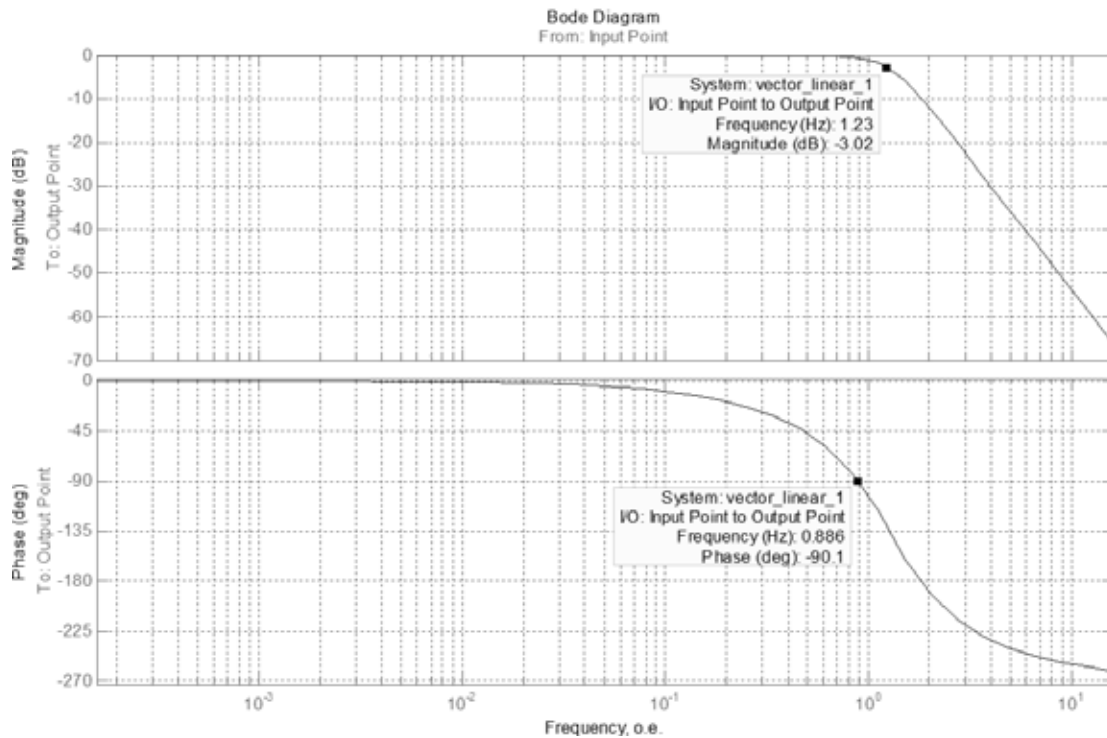


Рисунок 21 – ЛАЧХ контура потокосцепления

Полоса пропускания по модулю  $f_{ny}^{(M)} = 1,23$ .

В абсолютных единицах

$$F_{ny}^{(M)} = f_{ny}^{(M)} \times \delta = 1,23 \times 314,15 = 386,41 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания по фазе  $f_{ny}^{(\phi)} = 0,886$ .

В абсолютных единицах

$$F_{ny}^{(\phi)} = f_{ny}^{(\phi)} \times \delta = 0,886 \times 314,15 = 278,35 \text{ Гц}.$$

#### 4.1.4 Контур скорости

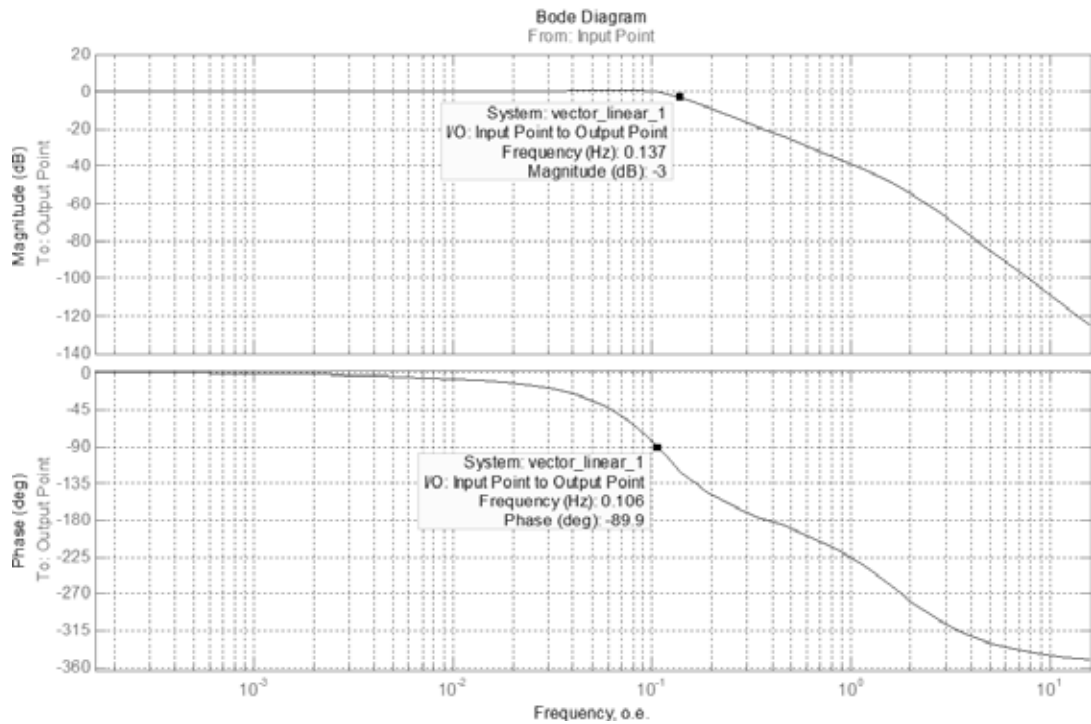


Рисунок 22 – ЛАЧХ контура скорости

Полоса пропускания по модулю  $f_{nw}^{(m)} = 0,137$ .

В абсолютных единицах

$$F_{nw}^{(m)} = f_{nw}^{(m)} \times \delta = 0,137 \times 314,15 = 43,04 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания по фазе  $f_{nw}^{(\phi)} = 0,107$ .

В абсолютных единицах

$$F_{nw}^{(\phi)} = f_{nw}^{(\phi)} \times \delta = 0,107 \times 314,15 = 33,62 \text{ Гц}.$$

## 4.2 Переходные процессы

### 4.2.1 Переходный процесс контура тока $i_{sx}$

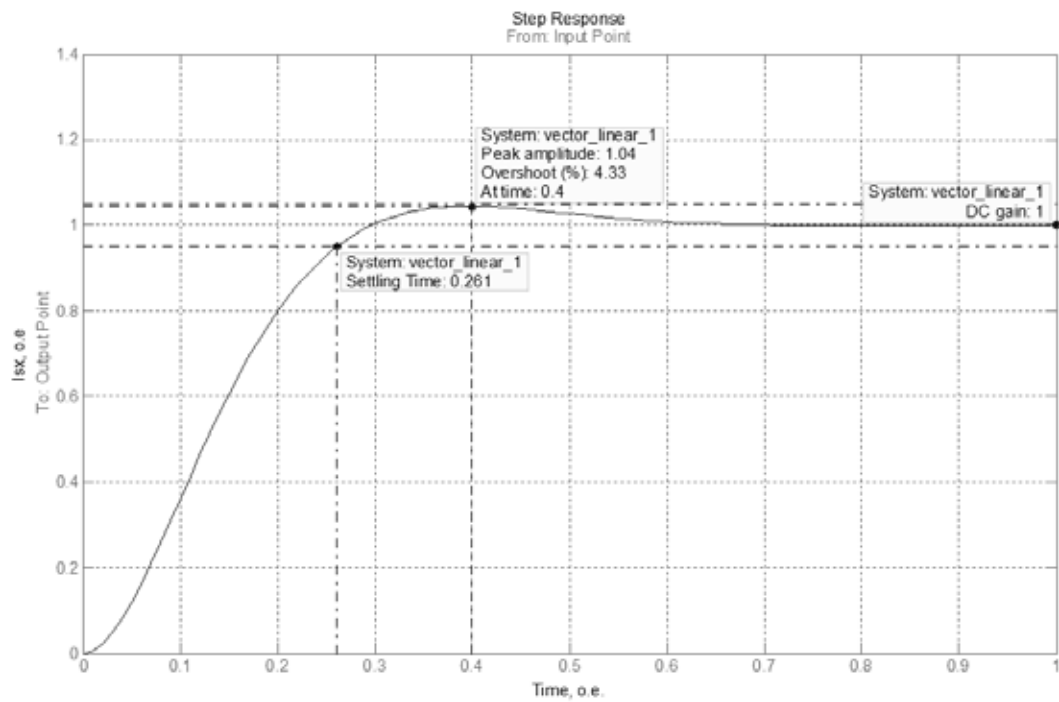


Рисунок 23 – Переходный процесс контура тока  $i_{sx}$

Перерегулирование:  $s^w = 4,33\%$ .

Время переходного процесса:  $t_{nn} = 0,261$ .

В абсолютных единицах

$$T_{nn} = t_{nn} \times \tau_{\delta} = 0,261 / 314,15 = 8,3 \times 10^{-4} \text{ с.}$$

Установившееся значение:  $I_{sx_{уст}} = 1$ .

#### 4.2.2 Переходный процесс контура тока $i_{sy}$

Перерегулирование:  $s^w = 4,4\%$ .

Время переходного процесса:  $t_{nn} = 0,261$ .

В абсолютных единицах

$$T_{nn} = t_{nn} \times \sigma = 0,261 / 314,15 = 8,3 \times 10^{-4} \text{ с.}$$

Установившееся значение:  $I_{sx_{ycm}} = 0,999$ .

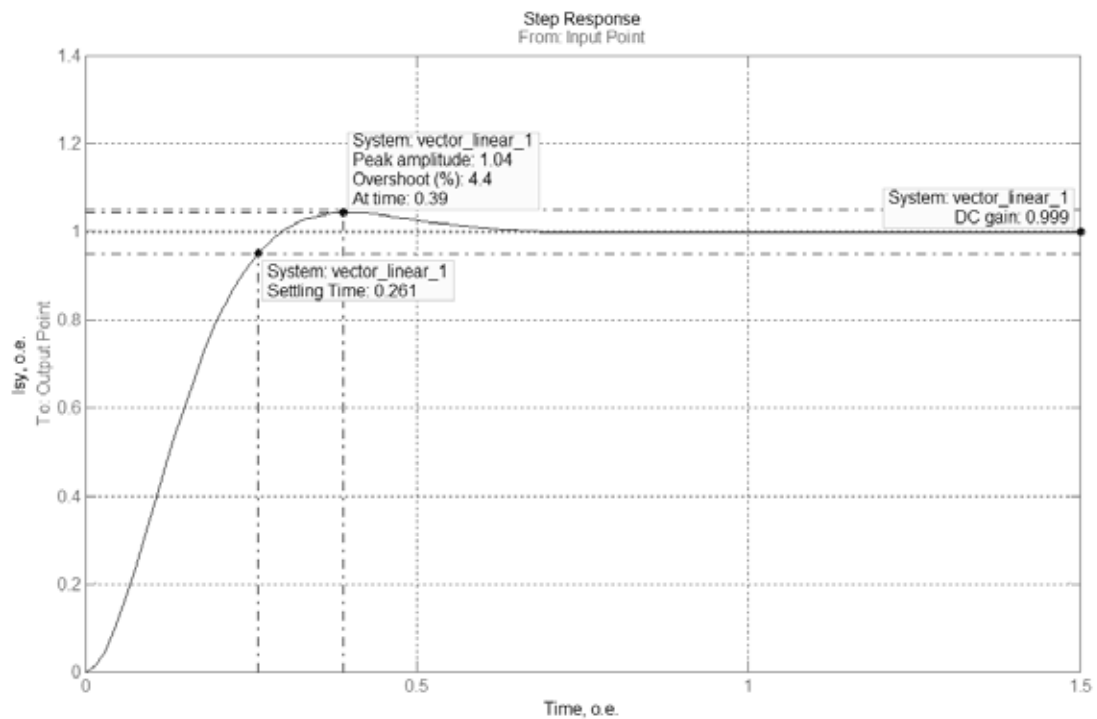


Рисунок 23 – Переходный процесс контура тока  $i_{sy}$



### 4.2.3 Переходный процесс контура потокосцепления

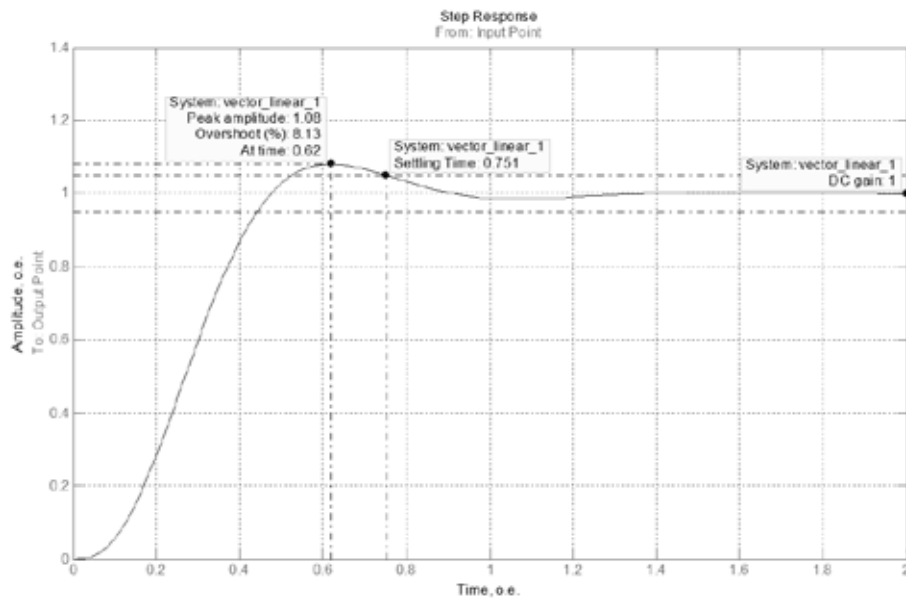


Рисунок 24 – Переходный процесс контура потокосцепления  
Перерегулирование:  $s^w = 8,13\%$ .

Время переходного процесса:  $t_{nn} = 0,751$ .

В абсолютных единицах

$$T_{nn} = t_{nn} \times \tau_{\sigma} = 0,751 / 314,15 = 2,39 \times 10^{-3} \text{ с.}$$

Установившееся значение:  $I_{sx_{уст}} = 1$ .

#### 4.2.4 Переходный процесс контура скорости

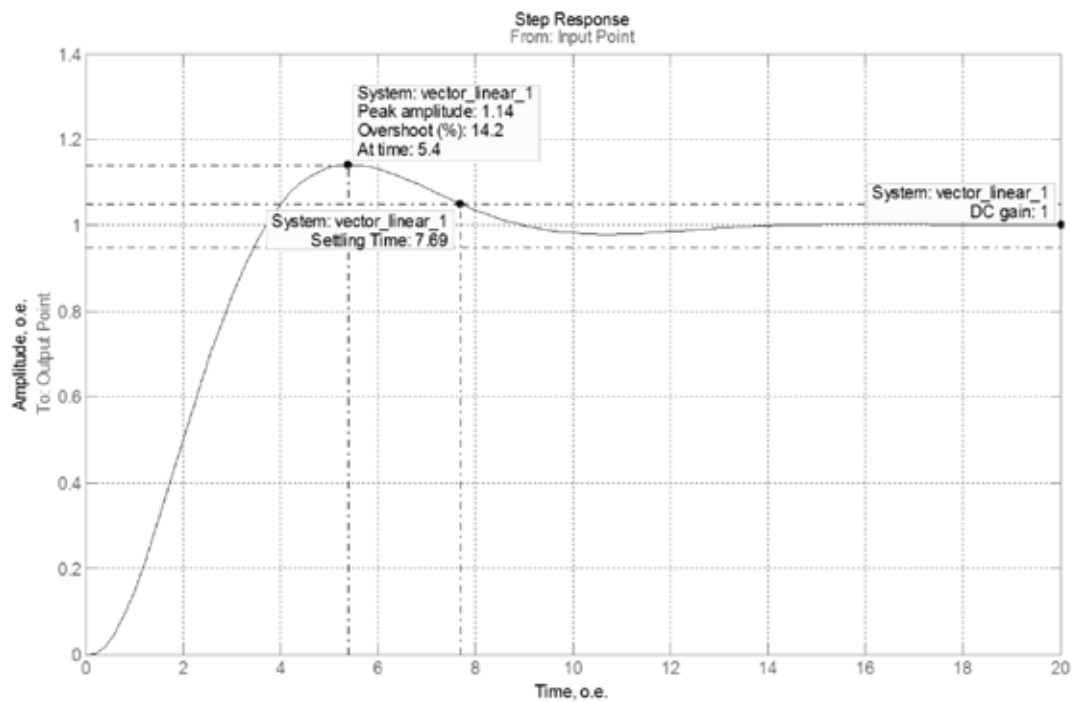


Рисунок 25 – Переходный процесс контура скорости  
Перерегулирование:  $s^w = 14,2\%$ .

Время переходного процесса:  $t_{nn} = 7,69$ .

В абсолютных единицах

$$T_{nn} = t_{nn} \times \tau_0 = 7,69 / 314,15 = 2,45 \times 10^{-2} \text{ с.}$$

Установившееся значение:  $I_{sx_{уст}} = 1$ .

Анализ полученных данных показывает, что в целом система обладает рассчитанными показателями качества.

Некоторое несоответствие ожидаемым параметрам объясняется следующими причинами:

- при расчёте регуляторов не учитывалась обратная связь по ЭДС, а при моделировании учитывалась;
- не учитывалась инерционность преобразователя и системы управления в целом.

### 4.3 Исследование нелинейной системы

В отличие от линейной системы, нелинейная система имеет ограничение токов и момента и регуляторы входят в насыщение. Нелинейную систему также будем исследовать с помощью пакета MATLAB.

Введём ограничение по току на уровне  $2I_n$ . По напряжению на уровне  $U_n$ . Это нужно для того, чтобы напряжение на двигателе не превышало номинального и изоляция не пострадала.

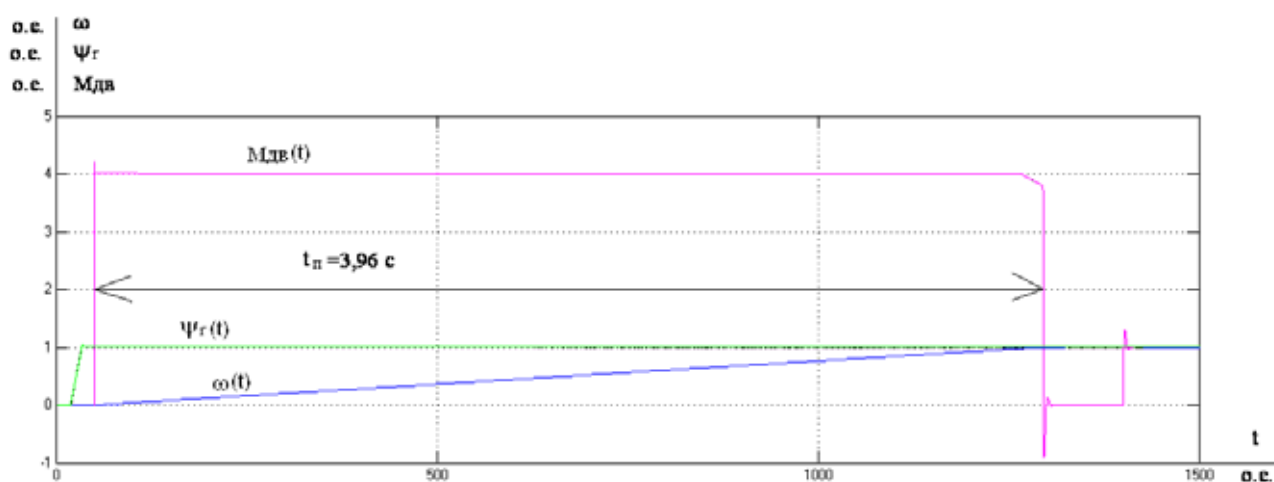


Рисунок 26 – Переходные процессы пуска без нагрузки и наброс нагрузки

Время разгона двигателя  $t_n=3,69$  с.

Момент двигателя  $M_{дв}=4M_n$ .

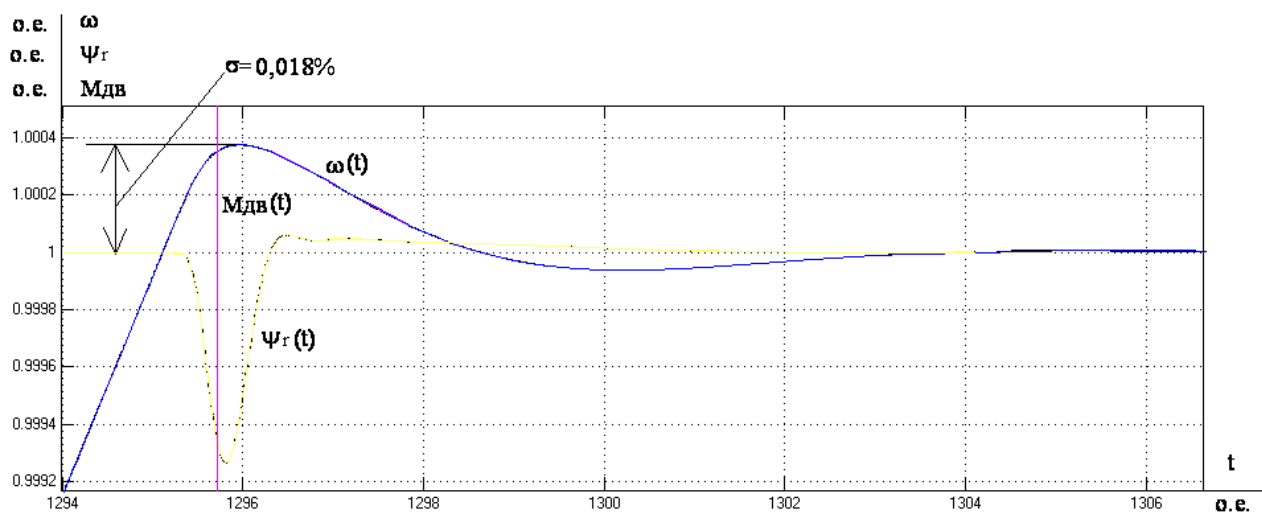


Рисунок 27 – Увеличенный переходный процесс пуска без нагрузки

Из рисунка 27 видно, что перерегулирование в нелинеаризованной системе намного меньше, чем в линеаризованной и составляет  $s=0,018\%$ .

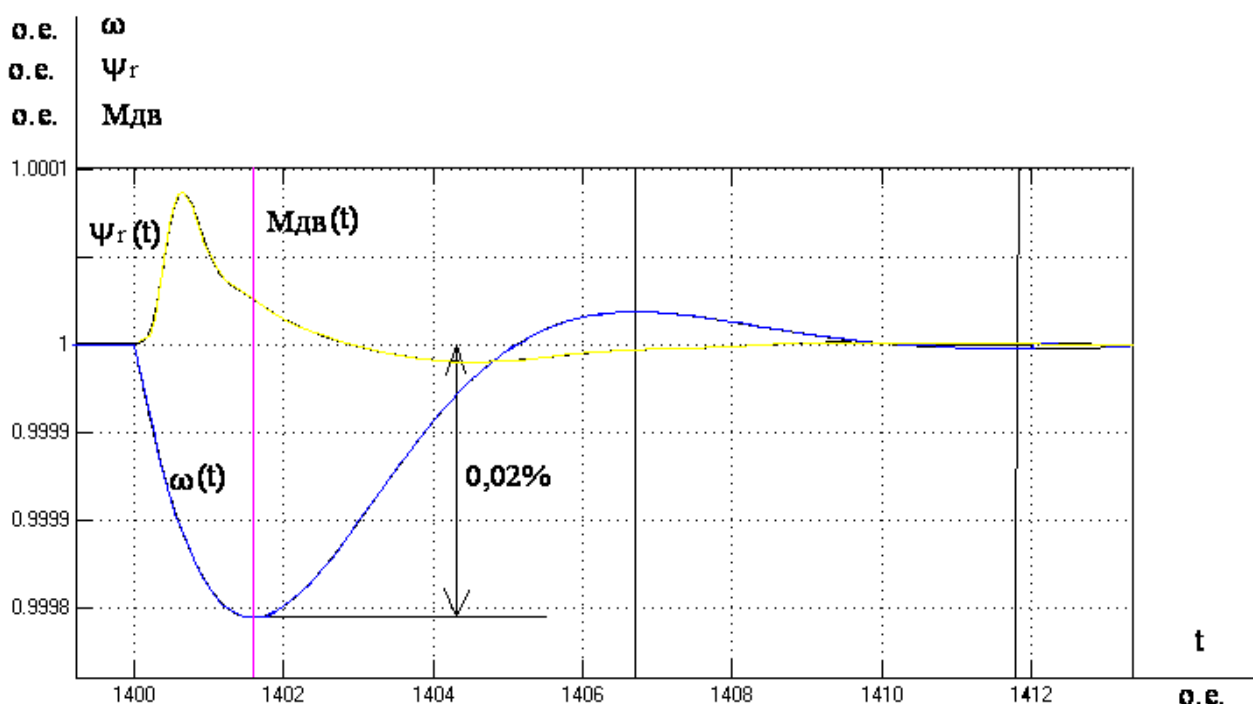


Рисунок 28 – Увеличенный переходный процесс наброса нагрузки

Провал скорости при набросе нагрузки составляет 0,02%, затем скорость опять выходит на заданную.

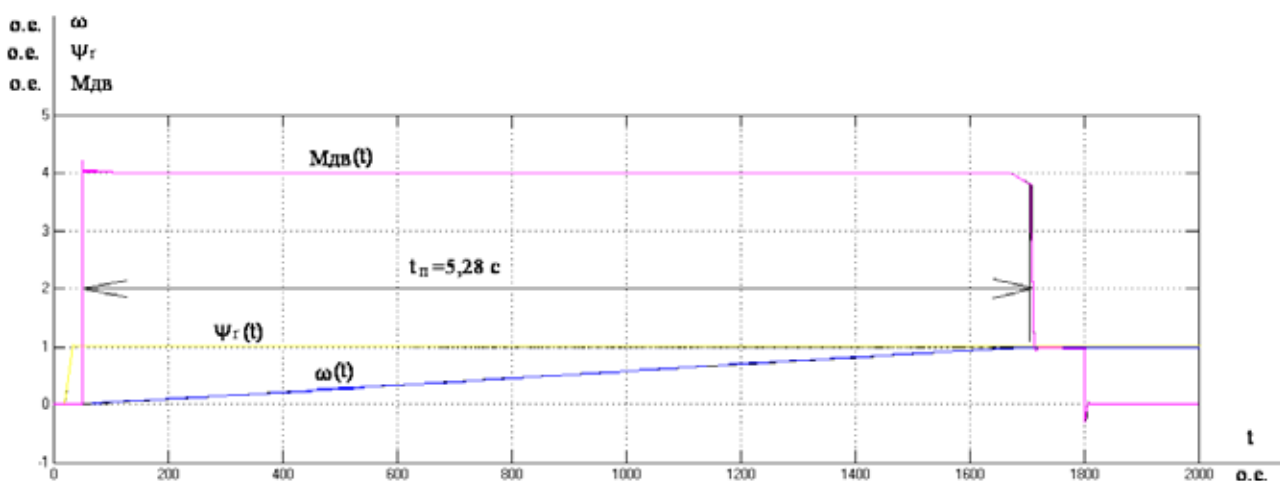


Рисунок 29 – Переходные процессы пуска на нагрузку и сброс нагрузки

Время пуска на нагрузку больше чем время пуска без нагрузки и составляет  $t_n=5,28$  c.

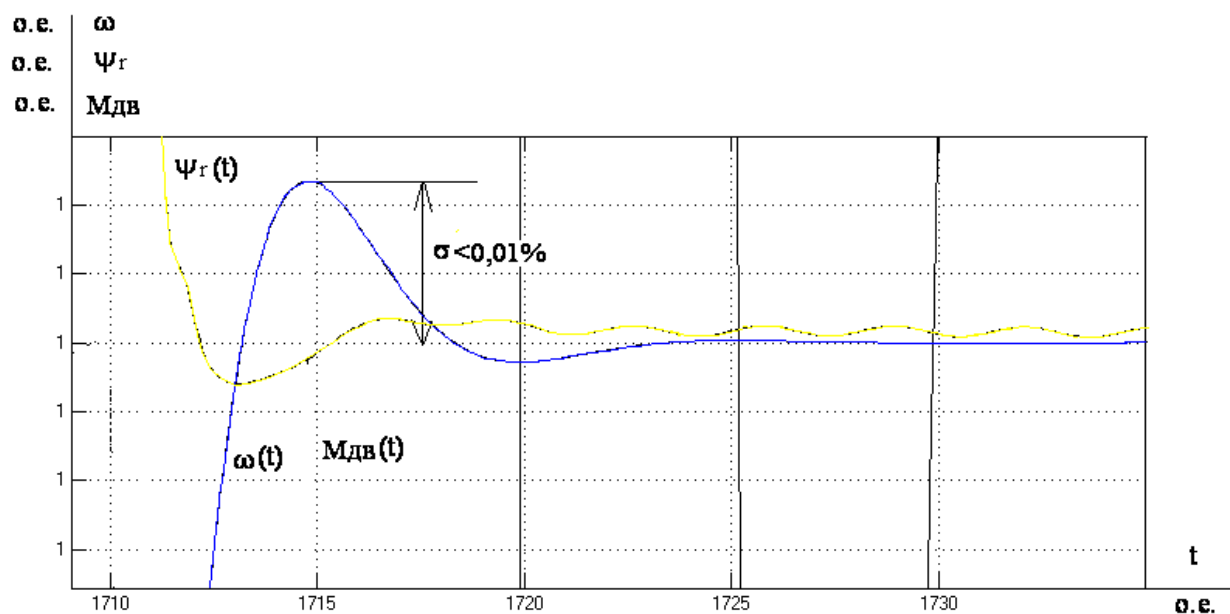


Рисунок 30 – Увеличенный переходный процесс пуска с нагрузкой

В программе MATLAB установлена точность 0,0001, поэтому перерегулирование точно определить не возможно и она составляет менее 0,01%.

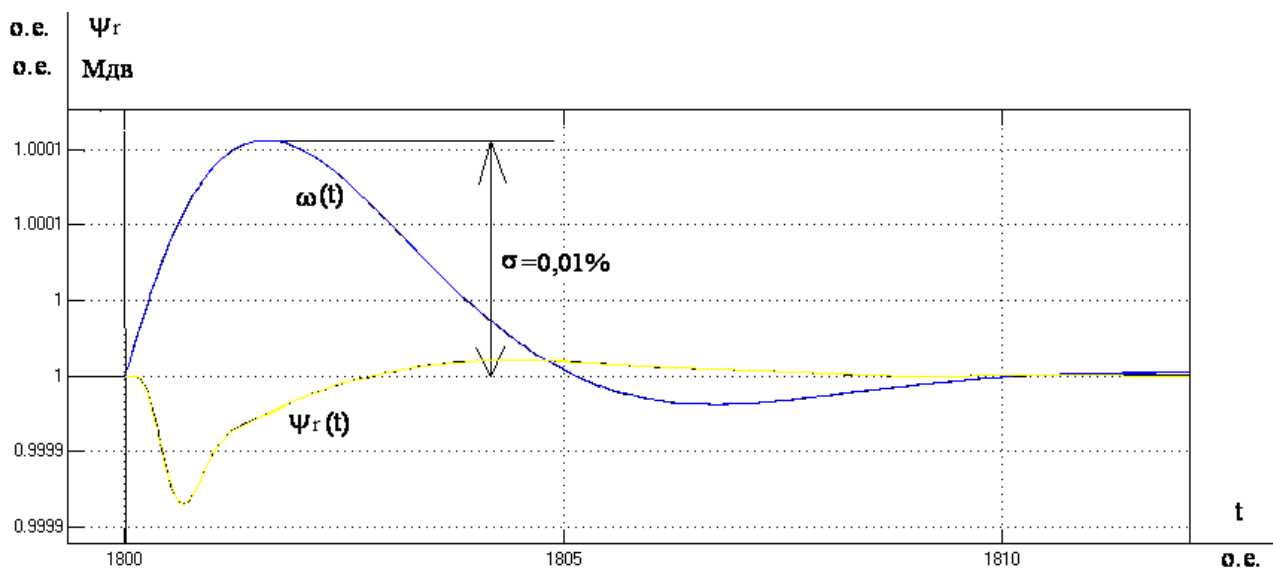


Рисунок 31 – Увеличенный переходный процесс сброса нагрузки

Скачок скорости сбросе нагрузки составляет 0,01%. Затем скорость выходит на установившееся значение.

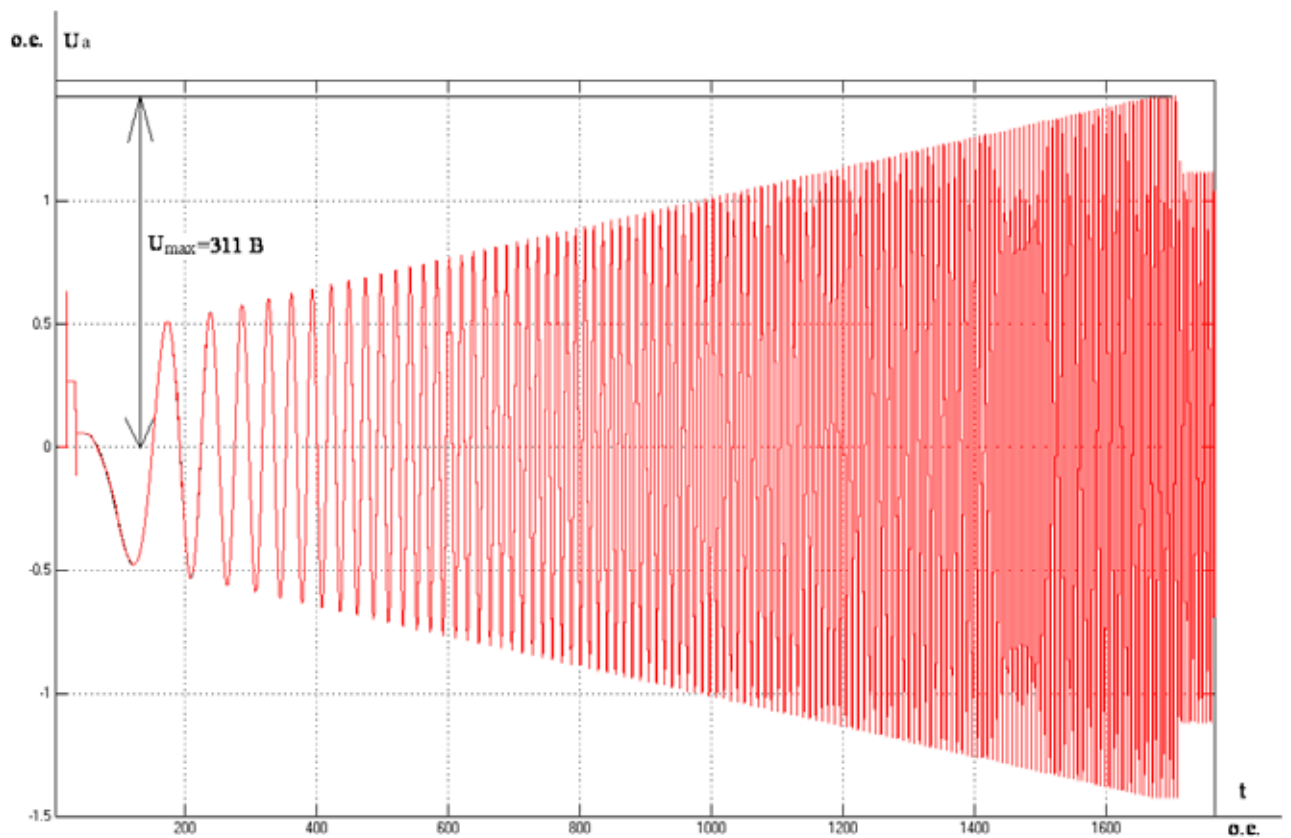


Рисунок 32 – Переходный процесс напряжения двигателя  $U_a$

Максимальное амплитудное значение напряжение не превышает номинального значения амплитудного напряжения двигателя.

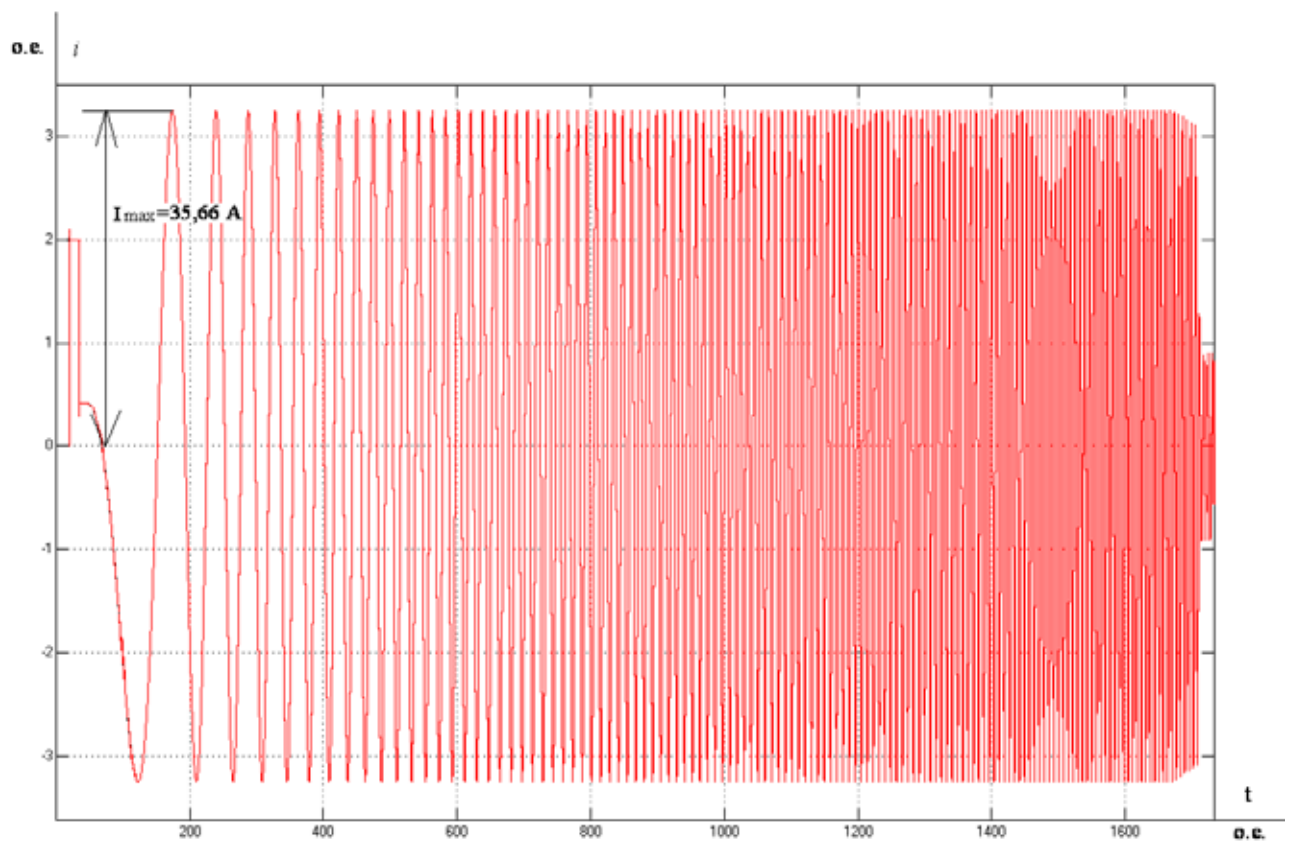


Рисунок 33 – Переходный процесс тока двигателя  $i_a$

Максимальное значение тока статора при пуске не превышает  $2,3I_n$ , при том, что максимальный допустимый пусковой ток для данного двигателя  $I_p=6,5I_n$ . При этом момент двигателя  $M_{дв}=4M_n$ . В этом особенность и преимущество векторного управления двигателем.

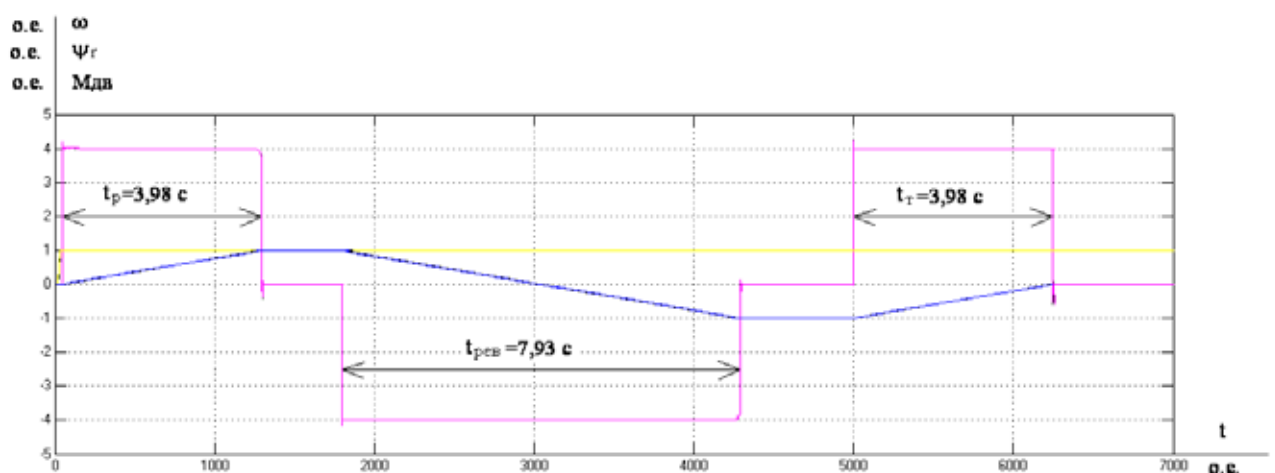


Рисунок 34 – Цикл работы привода пуск на максимальную скорость без нагрузки, реверс, торможение

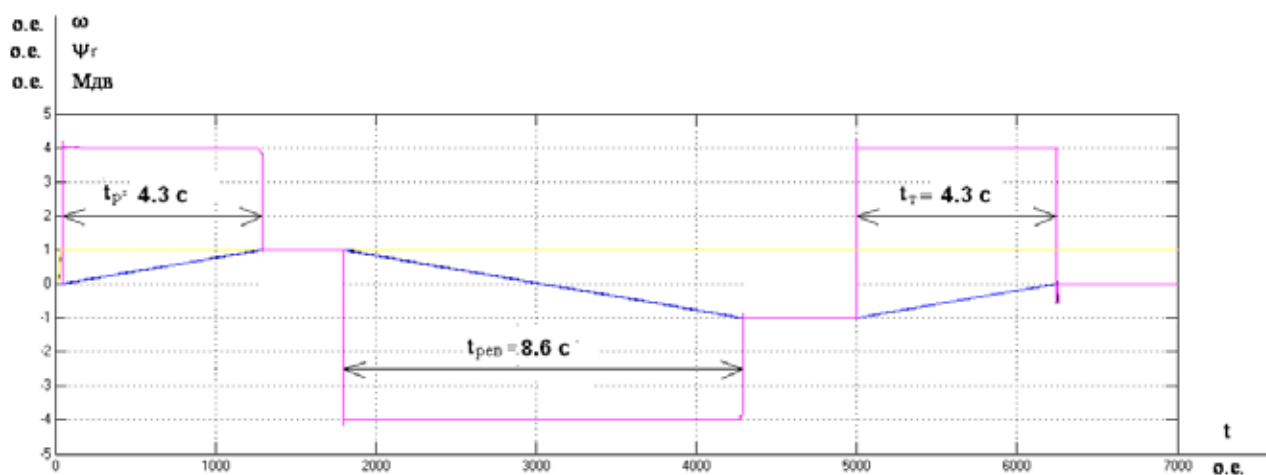


Рисунок 35 – Цикл работы привода пуск на максимальную скорость с нагрузкой, реверс, торможение

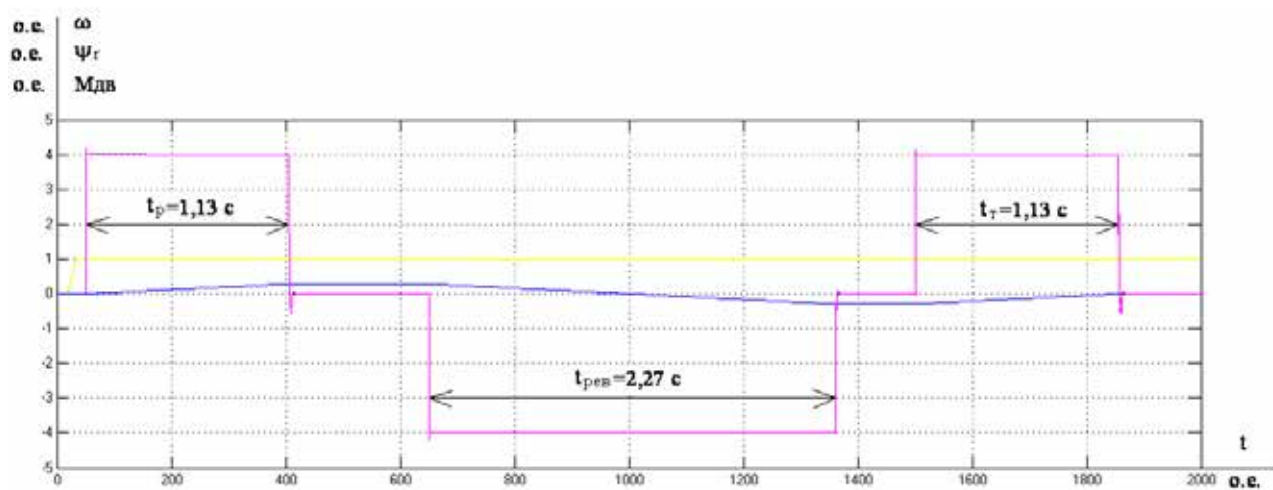


Рисунок 36 – Цикл работы привода пуск на минимальную скорость без нагрузки, реверс, торможение



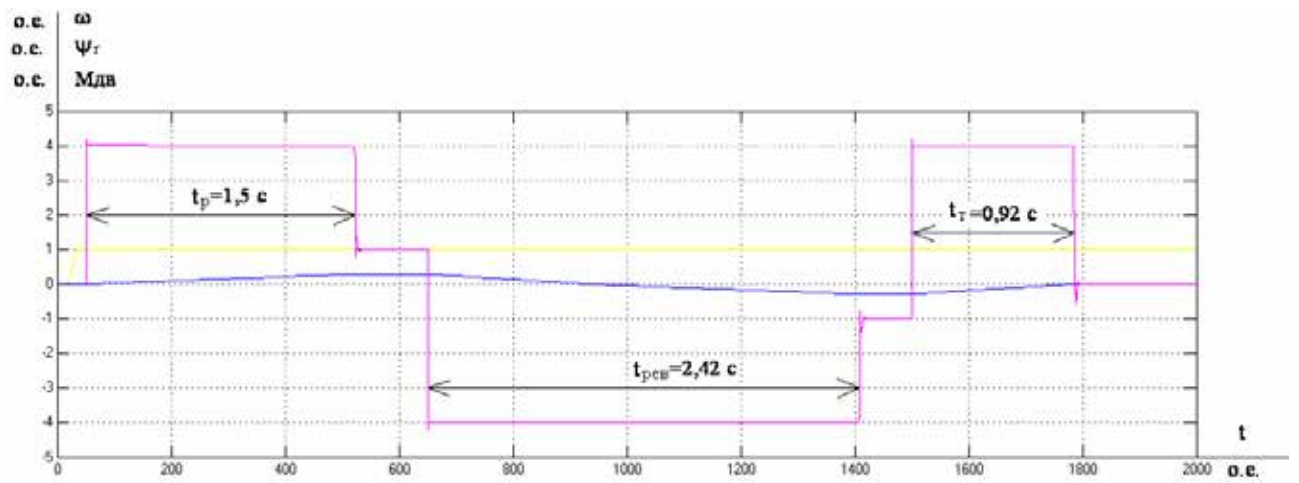


Рисунок 35 – Цикл работы привода пуск на минимальную скорость с нагрузкой, реверс, торможение

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Умаралиев Мамуржон Гайратилла угли

Подразделение	ИШЭ	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов на технический проект: материально-технических, энергетических, финансовых и информационных	Должностные оклады профессорско-преподавательского состава ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	ГОСТ 14.322-83 << Нормирование расхода материалов>> и ГОСТ Р 51541-99 << Энергосбережение. Энергетическая эффективность >>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов и отчислений	Отчисления во внебюджетные страховые фонды – 30,2%;

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка потенциала и перспективности реализации технического проекта (ТП) с позиции ресурсоэффективности	Потенциал и перспективность реализации ТП оценивается проведением SWOT-анализа, а ресурсоэффективность ТП с помощью интегральной оценки ресурсоэффективности.
2. Планирование графика работ по реализации ТП	При составлении графика работ по реализации ТП используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным составляется ленточная диаграмма Ганта.
3. Планирование и формирование смета на ТП	Смета затрат на проект
<b>Перечень графического материала</b>	
1. Календарный план-график проведения ТПОКР	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мелик-Гайказян Мария Вигеновна	к.э.н., доцент		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Умаралиев Мамуржон Гайратилла угли		

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Цель данного раздела обосновать целесообразность использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, используя планово-временные и материальные показатели процесса разработки.

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

- оценка технологического проекта при помощи SWOT-анализа;
- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта

### **5.1 SWOT-анализ по разработки проекта регулируемого электропривода вращающийся печи**

SWOT– анализ является инструментом стратегического менеджмента и представляет собой техническое проектирование. [11]

Применительно к проектируемому электроприводу барабанных ножниц, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

- С – сильные стороны проекта;
- Сл – слабые стороны проекта;
- В – возможности;
- У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 2.

Таблица 2 - Матрица SWOT регулируемого электропривода вращающийся печи

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Высокое быстродействие С2. Широкий диапазон регулирования С3. Высокий КПД С4. Автоматическое ограничение момента при возможных перегрузках С5. Низкие виброшумовые характеристики	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1. Высокие габариты  Сл2.Сложность эксплуатации Сл3.Наличие открытых вращающихся частей электродвигателя
<b>Возможности:</b>  В1. Увеличение производительности  В2. Автоматизация технологического процесса В3. Уменьшение себестоимости разработки за счет сотрудничества с местными предприятиями; В4. Снижение затрат на техническом обслуживании	В1С2С3С5;  В2С1С4;  В3С2С3;  В4С1С4.	    В3Сл2;   В4Сл1Сл2Сл3.
<b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на технологии производства  У2. Развитая конкуренция технологий производства;  У3. Таможенные пошлины на зарубежные комплектующие У4. Угрозы выхода из строя сложного рабочего органа	У1С5;   У3С2С3;  У4С2С4.	У1Сл1Сл2Сл3;  У2Сл1;  У3Сл1Сл3;  У4Сл1Сл3.

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного представления наличия возможностей и угроз проекта («+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие).

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 3 и 4, показывает, что сильные стороны проекта преобладают над слабыми. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 3 - Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	-	+	+	-	+
B2	+	-	-	+	-
B3	-	+	+	-	-
B4	+	-	-	+	-
Возможности	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	-	-
B1	-	-	-		
B2	-	-	-		
B3	-	+	-		
B4	+	+	+		

Таблица 4 - Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
У1	-	-	-	-	+
У2	-	-	-	-	-
У3	-	+	+	-	-
У4	-	+	-	+	-
Угрозы	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3	-	-
У1	+	+	+		
У2	+	-	-		
У3	+	-	+		
У4	+	-	+		

При разработке технического проекта инженер нацелен на проектирование с возможно большим внедрением сильных сторон. Это влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированного электрооборудования, что немало важно для потребителей.

Также не стоит исключать случай, когда какая-либо из слабых сторон окажет наиболее сильное негативное воздействие, влияющее на работу системы электроснабжения, чем все вместе взятые сильные стороны. Для данного случая таким фактором может быть Сл2 - «Сложность эксплуатации». К примеру, при любом проектировании систем с использованием более простых универсальных электрических и конструктивных систем внутризаводской и внутрицеховой сети всегда будет присутствовать сложность в эксплуатации, ввиду наличия высокой ответственности и сложности технической системы для персонала и для потребителей. Но именно для этого разрабатываются и совершенствуются разработки универсальных, простых и безопасных систем с использованием автоматизированного управления (В2), что позволит нам минимизировать влияние слабых сторон.

## **5.2 Структура работ в рамках технического проектирования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Составляем перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проводим распределение исполнителей по видам работ. Номерам этапов соответствуют следующие виды выполняемых работ, представленные в таблице 5:

№ 1 – Составление и утверждение технического задания – формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу, изучение первичной информации об объекте;

№ 2 – Подбор и изучение материалов по теме – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;

№ 3 – Проведение расчетов параметров электрического двигателя, выбор прототипа.

№ 4 – Проектирование системы управления, анализ различных систем управления

№ 5 – Расчет силовой части тиристорного преобразователя;

№ 6 – Математическое моделирование электропривода барабанных ножниц и анализ полученных результатов

№ 7 – Оценка эффективности полученных результатов – проверка соответствия выполненного проекта исходным требованиям с учетом ресурсо- и энергоэффективности;

№ 8 – Составление пояснительной записки – оформление результатов проектной деятельности;

№ 9 – Проверка выпускной квалификационной работы руководителем - в рамках учебно-практической работы, включает в себя окончательную проверку руководителем, устранение недочетов дипломником.

№10 – Подготовка к защите ВКР – подготовка презентации, согласование с преподавателем для защиты перед аттестационной государственной комиссией.

Таблица 5 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Подбор и изучение материалов по теме	2	Обзор технической литературы	Дипломник

Продолжение таблицы 5

Проведение расчетов параметров электрического двигателя, выбор прототипа.	3	Расчет параметров электродвигателя	Дипломник
	4	Расчет эксплуатационных характеристик двигателя	Дипломник, руководитель
	5	Расчет силовой части регулятора	Дипломник, руководитель
	6	Математическое моделирование	
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник, руководитель
Оформление отчета по техническому проектированию	8	Составление пояснительной записки	Дипломник
	9	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Руководитель
Сдача выпускной квалификационной работы	10	Подготовка к защите ВКР	Дипломник, руководитель

### 5.3 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож\ i}$  используется формула [11]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ож\ i}$  - ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;



$t_{\max i}$  - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

В таблице 6 приведены ожидаемая трудоемкость и время выполнения работы.

Таблица 6 - Расчет продолжительность работ

№	Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни					
		Минимально возможная трудоемкость		Максимально возможная трудоемкость		Ожидаемая трудоемкость	
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	Составление и утверждение технического задания	1	-	1	-	1	-
2	Подбор и изучение материалов по теме	-	2	-	5	-	3
3	Расчет и выбор двигателя	-	20	-	25	-	22
4	Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя	1	10	1	14	1	12
5	Расчет силовой части тиристорного преобразователя;	1	24	1	28	1	26
6	Моделирование электропривода;	-	10	-	14	-	12
6	Оценка эффективности полученных результатов	1	2	1	4	1	3
7	Составление пояснительной записки	-	7	-	14	-	10
8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	1	1	1	1	1	1
9	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	2	2	2	2	2	2

## **5.4 Разработка графика проведения технического проекта**

Наиболее удобным и наглядным вариантом является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

[11]

Таблица 7 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп-ли	$T_{pi}$ раб. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февр.		Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	-											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	3	-											
3	Расчет и выбор двигателя	Дипломник	22												
4	Расчет механических и эксплуатационных характеристик двигателя	Дипломник	12												
		Руководитель	1					-							
5	Расчет силовой части тиристорного преобразователя	Дипломник	26												
		Руководитель	1								-				
6	Моделирование электропривода	Дипломник	12												
7	Оценка эффективности полученных результатов	Дипломник	3										-		
		Руководитель	1										-		
8	Составление пояснительной записки	Дипломник	10												
9	Проверка выпускной квалификационной работы	Дипломник	1												-
		Руководитель	1												-
10	Сдача и защита выпускной квалификационной работы	Дипломник	2												-
		Руководитель	2												-

Итого длительность работ в календарных днях руководителя проекта равняется 7 дней, а инженера 101 дней

## **5.5 Составление сметы затрат на разработку ТП**

Смета затрат включает в себя следующие статьи:

- материальные затраты;
  - полная заработная плата исполнителей технического проекта;
  - отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### **5.5.1 Расчет материальных затрат**

В материальные затраты включаются затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители (флеш-карты), картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = \sum_{i=1}^m C_i \times N_{расх\ i},$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.);

Значения цен на материальные ресурсы установлены по данным, размещенным на сайте канцелярского магазина ТД „Карандаш”.

Таблица 8 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед.,руб.	Затраты на материалы, руб.
Упаковка бумаги	1	300	300
Ручка	2	50	130
Папка	1	55	55
Калькулятор	1	475	475
Переплет	1	40	40
Флеш-карта	1	600	600
Итого			1600

### 5.5.2 Расчет полной заработной платы исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп} ,$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) исполнителя рассчитывается исходя из трудоемкости работ и квалифицированных исполнителей по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \times T_p ,$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{тс} + З_{р.к.}}{F_d} ,$$

где  $З_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$З_{р.к.}$  – районная доплата, руб.;

$F_d$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 9.

Таблица 9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Заработная плата по тарифной ставке, руб.	Районная доплата, руб.	Среднемесячная заработная плата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Продолжительность работ, дн.	Основная заработная плата, руб.
Руководитель	33664	10099	43763	1683	7	11800
Инженер	12300	3690	15990	615	101	62100
Итого $Z_{осн}$ , руб.						73900

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \times Z_{осн}$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчёт полной заработной платы приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет полной заработной платы

Исполнители	Коэффициент дополнительной заработной платы руб.	Основная заработная плата одного работника руб.	Дополнительная заработная плата руб.	Полная заработная плата руб.
Руководитель	0,15	11800	1770	13600
Инженер	0,12	62100	7500	69600
Итого $Z_{осн}$ , руб.		73900	9270	83200

### 5.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \times З_{полн},$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб} = 0,302 * 83,2 = 25,1 \text{ руб.}$$

#### **5.5.4. Накладные расходы**

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от затрат технического проекта.

#### **5.6 Формирование сметы затрат технического проекта**

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при заключении договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

Определение бюджета затрат на технический проект приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
1. Материальные затраты ТП	1,6	1,2
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	83,2	63,6
3. Отчисления во внебюджетные фонды	25,1	19,2
4. Накладные расходы	20,1	16,0
5. Итого	130,0	100,0

В ходе выполнения данного параграфа была рассчитана продолжительность выполнения технического проекта, которая составляет 101 раб. Дней для инженера и 7 для руководителя. Составлен календарный график выполнения работ. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 130 тыс.руб, из которых основная часть (~63 %) приходится на оплату труда. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

### 5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), эффективности технического проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \times b_i,$$

где  $I_{pi}$  - интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  - весовой коэффициент для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  - бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;



$n$  – число параметров сравнения.

Безопасность нет необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала, так как управление и мониторинг за работой подъемного механизма осуществляется дистанционно.

Удобство в эксплуатации возможность диспетчеризации позволяет сократить количество осмотров системы за период эксплуатации;

Помехоустойчивость технического устройства (системы), способность устройства (системы) выполнять свои функции при наличии помех.

Энергосбережение применение в подъемных механизмах частотно-регулируемого электропривода дает возможность использовать плавный подъем груза;

Надежность отсутствие ударов при переключении на другие скорости подъема или спуска не изнашивается механизм;

Уровень шума – применение частотно-регулируемого электропривода значительно снижает уровень шума подъемного механизма;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводится в форме таблицы 12.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Балльная оценка разработки
1. Безопасность	0,10	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5
3. Помехоустойчивость	0,10	5
4. Энергосбережение	0,25	5
5. Надежность	0,30	4
6. Уровень шума	0,10	4
<b>ИТОГО</b>	1,00	4,6

Рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности для первого исполнения (проектируемый двигатель):

$$I_{\text{р-исп1}} = 5 \times 0.1 + 5 \times 0.15 + 5 \times 0.1 + 5 \times 0.25 + 4 \times 0.3 + 4 \times 0.1 = 4.6$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале) 4,6 что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5Г4Б2	Умаралиев Мамуржон Гайратилла угли

Школа	Иженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является регулируемый электропривод вращающейся печи
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Анализ организационных мероприятий при компоновке рабочей зоны
<b>2. Производственная безопасность</b> 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения  2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Анализ вредных факторов: - Повешенный уровень шума на рабочем месте; - Повешенный уровень вибрация; - Неудовлетворительная параметров микроклимата в помещении; - Неудовлетворительная освещенность рабочего места.  Анализ опасных факторов: - Поражение электрическим током; - Механические травмы.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Анализ воздействия на литосферу: образование отходов и методы их утилизации.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Разработка мер по предупреждению ЧС и действий при ее возникновении, а также ликвидации для следующей ЧС: Пожаровзрывоопасность

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г4Б2	Умаралиев Мамуржон Гайратилла угли		

## **6 Социальная ответственность**

### **6.1 Введение**

Целью данного раздела является анализ вредных и опасных факторов при наладке и эксплуатации вращающейся печи для обжига молебденового концентрата с асинхронным электродвигателем, мероприятий по устранению вредных и опасных факторов, санитарно-гигиенических норм, обеспечивающих безопасную работу при монтаже и эксплуатации, а также разработка противопожарных, профилактических и организационных мероприятий.

Главное в решении проблемы безопасности труда – забота о человеке, но немаловажное значение имеет устранение и экономических потерь, вызываемых травматизмом и профессиональными заболеваниями. Улучшение условий труда и обеспечение безопасности производимых работ способствует производительности труда. Работы, производимые при монтаже и наладке электропривода, непосредственно связаны с применением электроэнергии.

Питание осуществляется от трёхфазной сети переменного тока и напряжением 380 В. Поэтому при наладке установки появляется опасность поражения электрическим током.

При работе вращающейся печи в автоматическом режиме появляется опасность получения травм от вращающегося барабана печи. При коротких замыканиях и при несоблюдении правил эксплуатации электроустановок появляется опасность поражения обслуживающего персонала.

### **6.2 Правовые и организационные вопросы**

#### **6.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

До работ на производстве молибден допускаются только обученные и аттестованные списались не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже

колледжа, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии со ст. 104 ТК РФ допускается введение суммированного учета рабочего времени с учетным периодом три месяца. В случае, если по причинам сезонного и (или) технологического характера, установленная продолжительность рабочего времени не может быть соблюдена в течение учетного периода продолжительностью три месяца, отраслевым (межотраслевым) соглашением и коллективным договором может быть предусмотрено увеличение учетного периода для учета рабочего времени таких работников, но не более чем до одного года. При этом продолжительность рабочего времени за учетный период не может превышать нормального числа рабочих часов.

Согласно ст.117 ТК РФ работникам предоставляется ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск в силу условий труда, минимальная продолжительность которого составляет 7 календарных дней.

Правовое обеспечение безопасности жизнедеятельности на производстве включает законодательство о труде и охране труда. Основными законами, на основе которых осуществляется управление охраной труда, являются Федеральный закон «Об основах охраны труда в Российской Федерации» от 17 июля 1999 г. № 181-ФЗ; Трудовой кодекс РФ, принятый 30 декабря 2001 г.; Гражданский кодекс РФ.

### **6.3 Анализ вредных и опасных факторов при монтаже и наладке, а также при эксплуатации вращающейся печи**

Переход напряжения на металлические части электроустановок происходит в результате повреждения изоляции или в случае касания неизолированных токоведущих частей с корпусом, что часто является причиной производственного травматизма.

Применение электроэнергии вызывает следующие опасности:

- поражение электрическим током людей;
- пожары установок и помещений;
- травмы от вращающихся частей механизмов;

Часто при монтаже и наладке электропривода необходимо пользоваться для перемещения сборных единиц грузоподъемными механизмами, что обуславливает следующие опасности:

- возможность наезда перемещаемого груза на объекты оборудования;
- случайное падение перемещаемого груза, например, при неправильной его зацепке;

Но, так как электропривод насыщен всевозможными электроустановками, то основной опасностью остаётся поражение электрическим током.

Работающие в электромеханическом цехе могут подвергаться воздействию вредных производственных факторов. Таких как:

- шум от работы вращающейся печи;
- вибрация;
- отклонение параметров микроклимата в помещении;
- недостаточная освещенность рабочего места.

Для предупреждения этих опасностей следует заземлять металлические части электроустановок, и использовать устройства автоматического защитного отключения их в аварийных режимах.

## **Охрана труда**

### *Меры безопасности при эксплуатации вращающейся печи*

Помещение цеха согласно ПУЭ относится к помещениям с повышенной опасностью (температура окружающего воздуха больше 35 °С ).

К работе по наладке, обучению и управлению переменным электроприводом вращающейся печи допускаются лица со специальной подготовкой: знающие техническое описание и руководство по эксплуатации приводов переменного тока и числового программного управления. Обучение работающих безопасности труда должно проводиться в соответствии с

требованиями ГОСТ 12.0.004-79; медосмотры при поступлении на работу, группа по электробезопасности.

Перед началом работы оператор должен устранить все неполадки, убедиться в исправном состоянии основного и вспомогательного технологического оборудования и средств обеспечения безопасности.

*Меры безопасности при монтаже и ремонте вращающейся печи*

- прежде чем приступить к монтажным и ремонтным работам, необходимо отключить напряжение;
- запрещается выполнять работы по присоединению и отсоединению захватных устройств без снятия питания с вращающейся печи;
- коллективные и индивидуальные средства защиты от электропоражений, защитные заземления;
- защита от вращающихся частей оборудования (кожуха);
- индивидуальные средства защиты;
- правила работы с грузоподъемными механизмами.

#### **6.4 Расчет защитного заземления**

Заземление направлено против опасности поражения человека электрическим током. Заземление механизмов, машин, аппаратов, электроустановок на корпусе которых по ряду причин возможно появление потенциала, производится путём их электрического соединения с землёй. Система заземления состоит из заземлителей – металлических предметов, углублённых в землю, заземляющих проводников и заземляющей магистрали. Заземлители могут быть естественными и искусственными. Под естественными заземлителями понимаются металлические предметы, которые имеют заземлённый контакт. Это могут быть водопроводные трубы, металлические конструкции зданий и сооружений, имеющие наземные соединения с землёй.

Вращающейся печь работает с напряжением 380/220В. Для данной схемы питания заземляющее устройство должно иметь сопротивление не более 4 Ом. В качестве проводов заземлителей принимают трубы диаметром

45 мм и длиной 3 м, а в качестве полос, соединяющих трубы полосовую сталь сечением 48 ´ 4 мм.

Заземлители размещаются в один ряд, трубчатые заземлители устанавливаем на глубине 800 мм от верхнего конца трубы, а расстояние между трубами равно двойной длине трубы, т. е. 6 м. Верхние концы заземлителей соединены полосовой сталью сваркой.

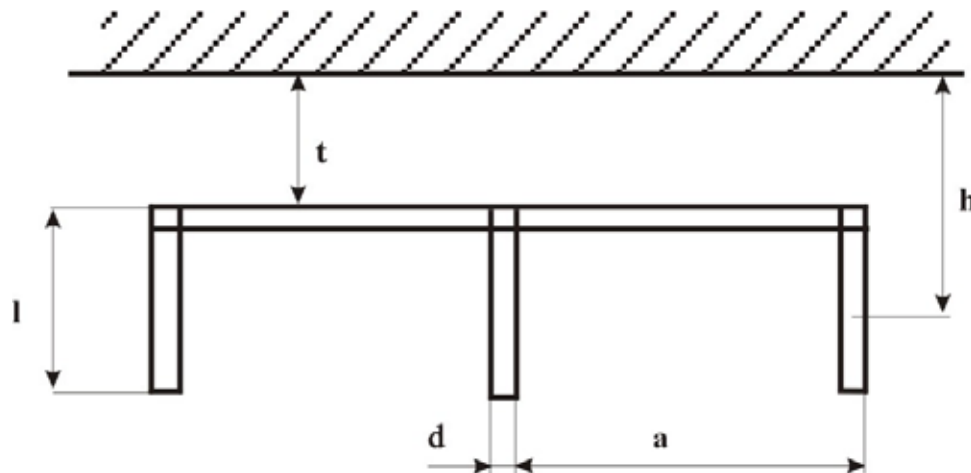


Рисунок 36 - Схема установки защитного заземления  $l = 3000$  [мм];

$d = 45$  [мм];

$S = 48 \times 4$  [мм<sup>2</sup>];

$a = 6000$  [мм];

$t = 8000$  [мм];

$h = 2300$  [мм];

Учитывая возможность промерзания грунта округляем расчетные значения  $r_{\text{э}}$  и  $r_{\text{п}}$ .

$$r_{\text{э}} = r_{\text{Г}} \times K_{\text{э}} = 10^4 \times 1.9 = 1.9 \times 10^4, \text{ Ом} \cdot \text{см};$$

$$r_{\text{п}} = r_{\text{Г}} \times K_{\text{п}} = 10^4 \times 4.5 = 4.5 \times 10^4, \text{ Ом} \cdot \text{см},$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий изменение удельного сопротивления грунта в различные периоды года, коэффициенты  $K_{\text{э}}$  и  $K_{\text{п}}$  берем из таблицы 5 [16].

$r_{\text{п}}$  – удельное сопротивление грунта для полосы;

$r_{\text{э}}$  – удельное сопротивление грунта для электрода;

$r_{\text{Г}}$  – удельное сопротивление грунта (таблица 4 [9]);  $r_{\text{Г}} = 1 \cdot 10^4$ , Ом•см



Определим величину сопротивления растеканию одного заземлителя

$$R_{\text{з}} = \frac{r_{\text{з}}}{2\rho l} \left( \ln \frac{2l}{d} + 0.5 \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right)$$

$$R_{\text{з}} = \frac{1.9 \times 10^4}{2 \times 3.14 \times 300} \left( \ln \frac{2 \times 300}{4.5} + 0.5 \ln \frac{4 \times 230 + 300}{4 \times 230 - 300} \right)$$

$$R_{\text{з}} = 53.5, \text{ Ом}$$

Определим предварительно потребное число заземлителей

$$n = \frac{R_{\text{з}}}{r_{\text{п}}} = \frac{53.5}{4} = 13.4, \text{ шт}$$

$$n^* = \frac{n}{h_{\text{з}}} = \frac{13.4}{0.7} = 19.14$$

Учитывая, что трубы соединены полосой, которая тоже выполняет роль заземлителя, принимаем  $n = 20$ , шт.

Определяем длину полосы

$$l_n = 1.05a(n-1) = 1.05 \times 6 \times (20-1) = 119.7, \text{ м}$$

сопротивление соединительной полосы

$$R = \frac{r_{\text{г}}}{2\rho l} \ln \frac{2l^2}{t \times b} = \frac{45 \times 10^4}{6.28 \times 1970} \ln \frac{2 \times 1970^2}{800 \times 4} = 68, \text{ Ом}$$

Определим результирующее сопротивление растекания полосы с учетом коэффициента использования труб и полосы.

$$(r_{\text{з}}=0.82; r_{\text{п}}=0.76)$$

$$R_{\text{с}} = \frac{R_{\text{з}} \times R_{\text{п}}}{R_{\text{з}} \times r_{\text{п}} + R_{\text{п}} \times r_{\text{з}} \times n_{\text{з}}} = \frac{53.5 \times 68}{53.5 \times 0.76 + 68 \times 0.82 \times 20} = 3.14, \text{ Ом}$$

Полученная величина сопротивления соответствует нормам.

## 6.5 Производственная санитария

Одним из важнейших условий полноценного труда является рациональное освещение. Источники искусственного освещения устанавливаются сзади, сверху и слева от рабочей зоны работа, а для работ по наладке и монтажу электропривода вращающейся печи светильник с лампой накаливания крепится на корпус ЧПУ. Всё это обеспечивает равномерную освещенность рабочего места.

Наиболее вредными факторами при работах в механических цехах является шум и вибрация. В результате длительного воздействия шума нарушается нормальная деятельность сердечно-сосудистой системы, развиваются профессиональные заболевания слухового аппарата. Допустимое значение шумовых характеристик при типовых условиях эксплуатации на холостом ходу и под нагрузкой устанавливается в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83(1999) и не должно превышать эквивалентный уровень звука 80 децибел по шкале А шумомера[12].

Строительные нормы и правила [СниП II – 12 – 77 ] предусматривают защиту от шума строительными акустическими методами:

- звукоизоляция ограждающих конструкций, уплотнение по периметру окон, дверей, ворот;
- звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций инженерными коммуникациями.

При работе по монтажу и наладке электропривода целесообразно применение звукоизоляционных кожухов и экранов. При монтаже и наладке привода возможно потребуется применение индивидуальных средств защиты от шума. К таковым относятся мягкие противозумные вкладыши, вставляемые в уши, из ультратонкого войлока и жесткие из резины, наушники и шлемы.

Рост мощностей и быстроходности технологического оборудования при одновременном снижении его материалоемкости, уменьшение статических нагрузок на человека, связанные с подъемом производительности, сопровождается нежелательным рабочим эффектом – усиление вибраций. Воздействие вибраций не только ухудшает самочувствие работающего и снижает производительность труда, но часто приводит к ряду тяжелых профессиональных заболеваний. Допустимое значение уровня вибрации возникающей на рабочем месте при работе робота в эксплуатационном режиме не должно превышать значений указанных в ГОСТ 12.1.012 – 78. [13]

В неавтоматизированных производствах осуществляются следующие методы снижения вибраций:

- в источнике возникновения;
- снижение их на путях распространения;
- путём соответствующей организации труда, а также применение средств индивидуальной защиты и лечебно профилактические мероприятия.

Для защиты рук от воздействия локальной вибрации применяют рукавицы и перчатки следующих видов:

- полностью изготовленные из виброзащитного материала;
- со специальными упругодемпфирующими вкладками [14].

При работе в условиях общей вибрации применяют спец. обувь [15].

Метеорологические факторы, как каждый в отдельности так и в отдельных сочетаниях оказывают большое влияние на функциональную деятельность человека его самочувствие и здоровье.

Работу в механическом цеху можно отнести к категории работ средней тяжести II б, тогда допустимые метеорологические условия:

Таблица 13 - Допустимые метеорологические условия

СанПин 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений	Холодный период	Теплый период
Температура воздуха	15-22 °С	16-27 °С
Относительная влажность	15-75 %	15-75%
Скорость воздуха	0,2-0,4 м/с	0,2-0,5 м/с

**Освещенность.** Произведем расчет искусственного освещения в соответствии с действующими нормативами СНиП 23-05-95.

Для равномерной освещенности рабочих поверхностей рабочего места и помещения в целом необходимо спроектировать рациональную систему освещения.

Основным источником света, как для общего, так и для комбинированного освещения, являются люминесцентные лампы. Из них наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ (белого цвета). Определим мощность ламп методом коэффициента использования. Данный метод учитывает, при определении светового потока, свет, отраженный стенами и потолком.

Определим индекс помещения  $i$  по выражению:

$$i = \frac{S}{[(A+B) \times h_n]}, \quad (5.1)$$

где  $A = 11$  м – длина помещения;

$B = 7,5$  м – ширина помещения;

$h_n$  – высота подвеса ламп над рабочей поверхностью.

$$h_n = h - h_c - h_p, \quad (5.2)$$

где  $h = 3,5$  м – высота помещения;

$h_c = 0,5$  м – свес светильников;

$h_p = 0,8$  м – высота рабочей поверхности.

Подставим численные значения в выражения (5.1 и 5.2):

$$h_n = 3,5 - 0,5 - 0,8 = 2,2 \text{ (м)};$$

$$i = \frac{11 \times 7,5}{(11 + 7,5) \times 2,2} = 2,02$$

Примем  $i = 2$ .

Наиболее выгодное отношение расстояния между светильниками к их высоте над рабочей поверхностью равно 1,6.

Найдем расстояние  $L_n$ :

$$L_n = 1,6 \cdot h_n = 1,6 \cdot 2,2 = 3,5 \text{ (м)}$$

Количество светильников в одном ряду:

$$\text{– по длине } N_{\text{дл}} = (A - L_n) / L_n + 1 = (11 - 3,5) / 3,5 + 1 \approx 3 \text{ (шт.)}$$

$$\text{– по ширине } N_{\text{ш}} = (B - L_n) / L_n + 1 = (7,5 - 3,5) / 3,5 + 1 \approx 2 \text{ (шт.)}$$

Общее число светильников в помещении:

$$N = N_{\text{дл}} \cdot N_{\text{ш}} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ (шт.)}$$

Коэффициенты отражения выбираем:

$\rho_s = 50\%$  (стены выкрашены в светлый цвет);

$\rho_p = 70\%$  (потолок выбелен в белый цвет).

Определим величину коэффициента использования  $\eta$  имея  $i$ ,  $\rho_s$ ,  $\rho_p$

$\eta = 60\%$ .

Определим поток каждой из ламп:

$$F_n = \frac{E_o \times k \times s \times z}{n \times \eta}, \quad (5.3)$$

где –  $E_o = 200(\text{Лк})$  – освещенность, необходимая при точечных работах, для общего назначения;

$k = 1,5$  – коэффициент запаса, учитывающий характер среды в помещении (пыльность, загрязненность и другие) и тип источника света;

$n = 6$  – количество ламп;

$z = 1,1$  – коэффициент поправочный для определения средней освещенности.

Эскиз помещения с расстановкой светильников приведен на рисунке 37.

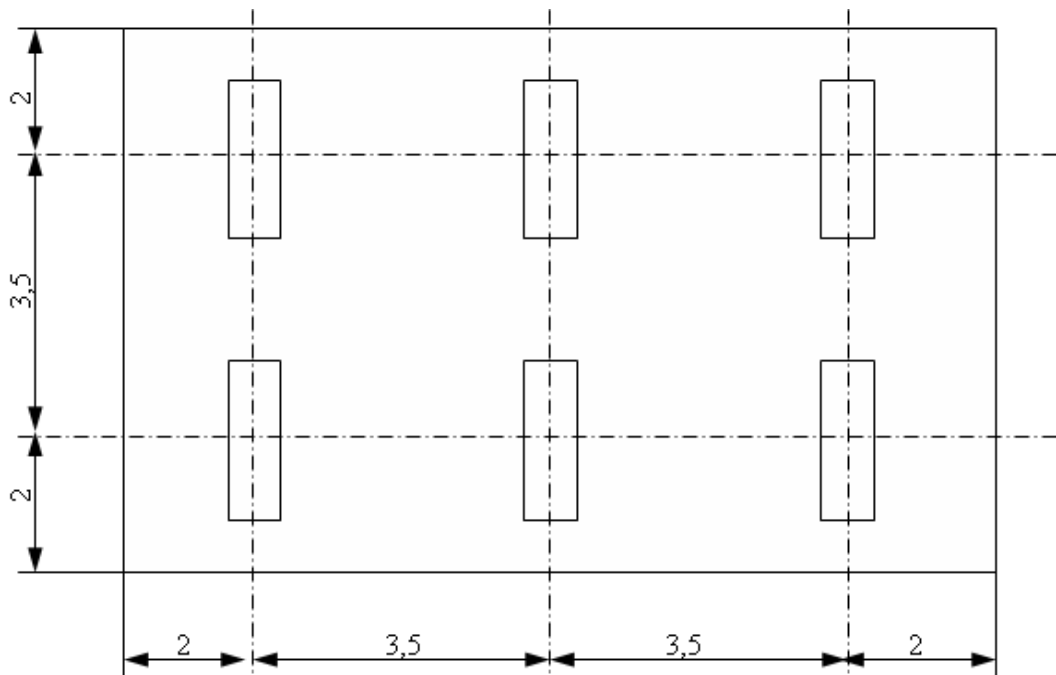


Рисунок 37 - Эскиз помещения с расстановкой светильников

Подставим эти значения в выражение 5.3

$$F_n = \frac{200 \times 1,5 \times 1 \times 7,5 \times 1}{6 \times 0,6} = 8250 \quad (\text{Лм})$$

Исходя из требуемого потока выбираем лампу ЛБ по 80 Вт. Поток каждой лампы составляет 4320 Лм. Выбрав светильники 0.8-2-80 осуществим проверку. Общий поток светильника 0.8-2-80 определим как:

$$F_2 = 2 \cdot 4320 = 8400 \quad (\text{Лм})$$

Полученный поток светильника соответствует рассчитанному потоку лампы искусственного освещения для лаборатории.

Общее освещение дополняется местным.

## **6.6 Охрана окружающей среды**

В наше время, в связи с ростом технической оснащенности общества, возникла острая проблема охраны окружающей среды. В нашей стране охраной природы принято считать систему государственных и общественных мероприятий, обеспечивающих поддержание или восстановление природных условий.

Охрана природы является общенародной задачей, которая включает в себя множество аспектов: защита водоёмов и недр от отходов промышленных предприятий, защита атмосферы от загазованности, снижение уровней шумов, вибраций, защита от электромагнитных полей и всевозможных излучений.

Загрязнение окружающей среды угрожает не только здоровью людей и животных, оно также наносит большой ущерб народному хозяйству.

Значительное загрязнение атмосферы требует разработки мероприятий по их сокращению но и необходимо разрабатывать мероприятия для борьбы выбросами.

Промышленное производство молибдена сопровождается выделением большого количества вредных веществ поэтому технологическое оборудование снабжают аспирационными установками.

Назначение аспирационных систем создание благоприятных условий труда по содержанию вредных веществ в воздухе производственных помещений путем предотвращения выделений из неплотностей технологического оборудования. Аспирационные системы располагают в соответствии с технологической схемой производства молибдена.

В состав аспирационных систем включают сухие и мокрые пылеуловители. При выгрузке молибдена из барабана печи выделяется много пыли, поэтому обычно применяют двухступенчатую схему очистки. В качестве первой степени используют группы циклонов типа ЦН-15, имеющие достаточно высокую эффективность пылеулавливания (87—97 %) при умеренном гидравлическом сопротивлении (0,35—1,15 кПа). На второй ступени пылеулавливания устанавливают скрубберы ЦС-ВТИ. Фактическая степень улавливания пыли в них — от 60 до 90 % и определяется в основном расходом орошающей жидкости и качеством ее распыления. Современные требования к созданию безотходного производства предусматривают обязательное замыкание систем водоснабжения, что обуславливает необходимость обеспечения надежной работы пылеуловителей на оборотной воде. При улавливании молибденовой пыли после процесса обжига основными трудностями замыкания цикла орошения мокрых пылеуловителей являются, помимо наличия абразивных твердых взвесей, изнашивающих распыливающие устройства, сильная карбонизация воды и образование в трубопроводной арматуре шламопроводов отложений в виде волокнистых и корковых карбонатных структур, забивающих трубопроводы.

Кроме трудностей, связанных с переработкой шламовых вод, серьезным препятствием в применении способа мокрого улавливания молибденовой пыли является плохая смачиваемость частиц. Очевидно, существующие способы интенсификации процесса мокрого пылеулавливания, связанные с добавлением в орошающую жидкость различных смачивающих добавок и поверхностно-активных веществ, не

могут обеспечить кардинальное решение этой проблемы из-за усложнения и удорожания шламового хозяйства.

Молибденовая пыль по существующей классификации может быть, как правило, отнесена к классу крупнодисперсных. Это упрощает задачу обеспыливания аспирационного воздуха сухими методами. Крупность частиц пыли является следствием высоких скоростей отсоса воздуха из укрытий оборудования.

Поскольку конечной целью обеспыливания является обеспечение санитарных требований к качеству выбрасываемого в атмосферу воздуха, предъявляются повышенные требования к степени очистки в системах пылеулавливания.

## **6.7 Пожарная безопасность**

### *Противопожарные мероприятия*

Для предупреждения пожаров необходим противопожарный режим. Этим преследуется основная цель – не допустить пожары, могущие возникнуть при:

- небрежном обращении с огнем,
- курении вне отведенных для этого мест,
- возникновении искр от плохих контактов электросистемы,
- коротких замыканиях.

Все производственные процессы в зависимости от взрывопожароопасных свойств, применяемых или производимых химических веществ, делятся по взрывной, взрывопожароопасной и пожарной опасности на пять категорий производств: А,Б,В,Г,Д.

Вращающаяся печь предназначена для обжига молибденового концентрата.. Пожароопасность определяется горючими свойствами применяемых материалов[11]. В таких производствах причиной пожара может стать:

- применение открытого огня,



- нагрев до высокой температуры трущихся и вращающихся частей механизмов,
- эксплуатация неисправного оборудования,
- самовозгорание промасленной ветоши,
- неправильный выбор сечения проводников токоведущих частей,
- плохие контакты в местах соединения проводников.

#### *Средства пожаротушения и их содержание*

Согласно нормам в механических цехах предусмотрено:

(ГОСТ 12.1.004 – 76) [10]

- огнетушители ОХП –10 – 2 штуки
- огнетушители ОУ – 5 – 1 штука
- пожарный щит с инвентарём
- пожарный ящик с песком.

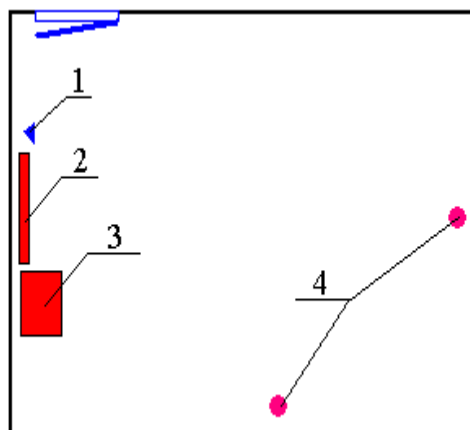


Рисунок 38- Средства пожаротушения

- 1– огнетушитель ОУ 5
- 2– пожарный щит с инструментом
- 3– ящик с песком
- 4– огнетушитель ОХП – 10

Средства пожаротушения должны всегда находиться в чистом и исправном состоянии. Подходы к пожарному инвентарю должны быть свободными, обеспечивать свободный доступ. Не допускается использование

противопожарных средств в каких либо других целях, не связанных с ликвидацией очагов возгорания.

### *Эвакуация*

При проектировании здания необходимо предусмотреть безопасную эвакуацию людей на случай возникновения пожара. При возникновении пожара люди должны покинуть здание в течении минимального времени, которое определяется кратчайшими расстояниями от места их нахождения до выхода наружу.

В соответствии со СнИП II – 2 – 80 число эвакуационных выходов из зданий, помещений и с каждого этажа зданий определяется расчетом, но должно составлять не менее двух. Эвакуационные выходы должны распределяться рассредоточено. При этом лифты и другие механические средства транспортировки людей не учитываются. На случай возникновения пожара имеется план эвакуации людей и оборудования

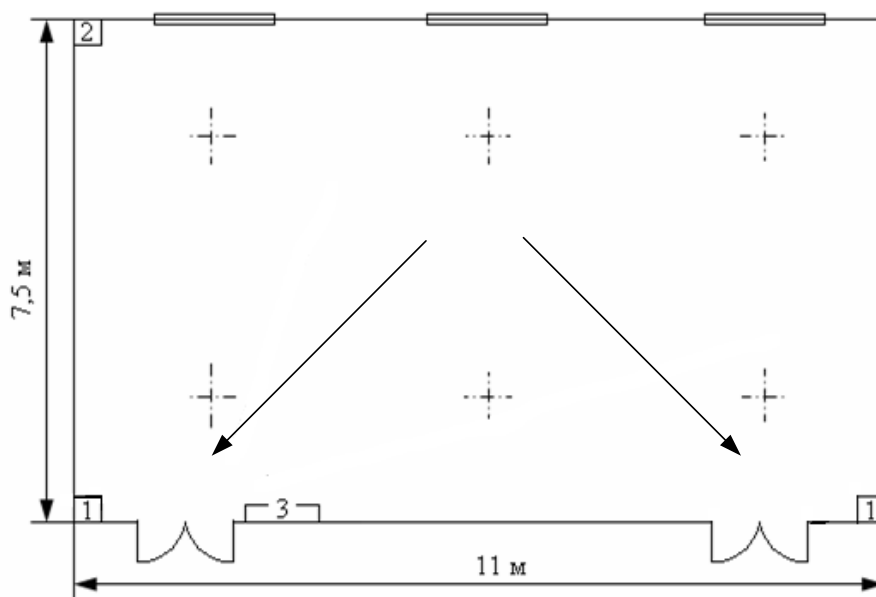


Рисунок 39 - План эвакуации людей и оборудования.

(1 и 2 - огнетушители типа ОУ-2; 3 – силовой щит)

### *Порядок оповещения в случае загорания.*

Первый, заметивший очаг загорания, окриком предупреждает об этом всех окружающих, затем сообщает мастеру или руководителю, который лично

извещает о случившемся руководство предприятия, пожарную команду, скорую помощь и приступает к ликвидации пожара силами работников.

### **Требования к рабочему месту.**

Рабочее место должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечить возможность удобного выполнения работ;
- учитывать физическую тяжесть работ;
- учитывать размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего;
- учитывать технологические особенности процесса выполнения работ

## **Заключение**

Целью выпускной квалификационной работы являлось проектирование и разработка электропривода вращающейся печи для обжига молибденового концентрата.

В результате выполненного проекта, спроектирован электропривод полностью отвечающий техническому заданию и всем указанным выше особенностям. Разработанный электропривод вращающейся печи для обжига молибденового концентрата полностью удовлетворяет всем техническим требованиям и особенностям технологического процесса.

В систему автоматического управления электроприводом вращающейся печи входят электродвигательная, преобразовательная, передаточная и управляющая системы, вместе представляющие сложную электромеханическую структуру.

Показатели переходных процессов, полученные с помощью численного моделирования на ЭВМ близки к показателям системы, ожидаемым при произведённых настройках контуров.

Статическая ошибка системы удовлетворяет заданной погрешности поддержания скорости при максимальной нагрузке. На холостом ходу ошибка по скорости практически равна нулю.

Электропривод вращающейся печи обеспечивает работу в длительном режиме с сильно инерционной нагрузкой; минимальное время реверсирования и достаточно широкий диапазон регулирования.

Кроме того, электропривод вращающейся снабжен системой защит и сигнализации, обеспечивающей безаварийную и безопасную работу печи.

Как видно из результатов моделирования электропривода, система векторного управления обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению со скалярным методом управления. Она обеспечивает четырёхкратный момент при увеличении тока в 2,3 раза. Следовательно система векторного управления обладает энергосберегающими свойствами.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» выполнен технический проект и решены следующие задачи:

- в результате проведения SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны выбора технического проекта. Установлено, что технический проект имеет несколько важных преимуществ, обеспечивающих повышение производительности, безопасности экономичности технического производства.

- при планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителя.

- составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта.

- оценка ресурсоэффективности проекта, проведенная по интегральному показателю, дала высокий результат (4,6 по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности реализации технического проекта.

В работе рассмотрены вопросы социальной ответственности.

## **Conclusion**

The purpose of this diploma project was the design and development of the electric drive of a rotary kiln for calcining molybdenum concentrate.

As a result of the completed project, the electric drive is fully designed to meet the technical requirements and all the above features. The developed electric drive of a rotary kiln for baking molybdenum concentrate completely satisfies all technical requirements and special features of the technological process.

The automatic control system of the electric drive of the rotary kiln includes an electric motor, converter, transmission and control systems, which together represent a complex electromechanical structure.

Pokazateli transient processes, obtained with the help of numerical modeling on computers, are close to the indicators of the system, expected when the settings of contours are made.

The static error of the system satisfies the specified error of the rate-keeping under maximum load. At idle speed error is almost zero.

The electric drive of the rotary kiln provides long-term operation with a very inertial load; minimum reversal time and a sufficiently wide range of regulation.

In addition, the electric drive of the rotating is equipped with a system of protection and signaling, ensuring trouble-free and safe operation of the furnace.

As can be seen from the simulation results of the electric drive, the vector control system has undeniable advantages over the scalar control method. It provides a fourfold moment with an increase in current of 2.3 times. Consequently, the vector control system has energy-saving properties.

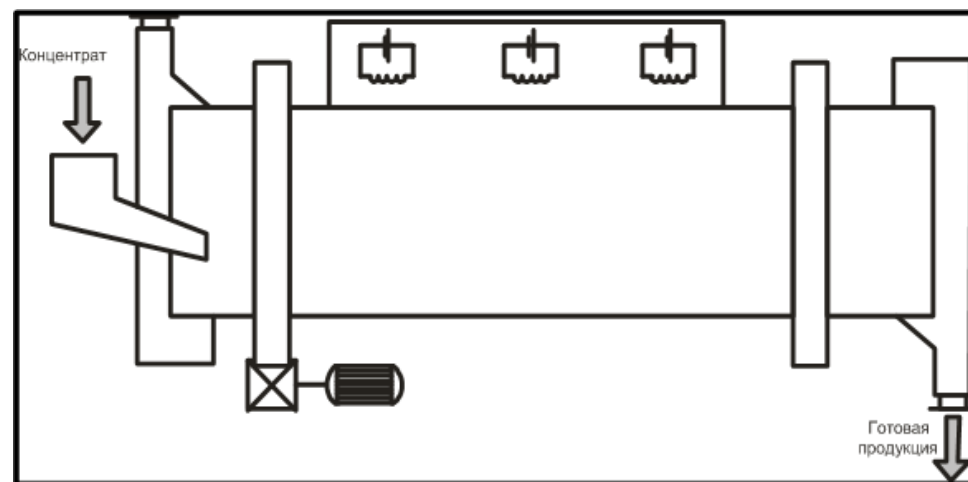
### **Список использованной литературы**

1. Елесеев В.А., Справочник по автоматизированному электроприводу, Энергоатомиздат, 1983 г.
2. Ланграф С.В., Асинхронный электропривод, ТПУ Томск, 2003 г.
3. Преобразователь частоты с управлением вектора потока EI-9011. Руководство по эксплуатации.
4. Шрейнер Р.Т., Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты, Екатеринбург УРО РАН, 2000 г.
5. Система стандартов безопасности труда.
6. Сибаров Ю.Г., Сколотнев Н.Н. Охрана труда в вычислительных центрах.-М: Машиностроение, 1985
7. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей.- Томск: Изд. ТПУ, 2000.-14 с.
8. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
9. Большаков С.В., Финансы предприятий: теория и практика учебник для вузов. – М.: Кн. Мир 2006. – 617 с.
10. Раицкий К.А. Экономика предприятия: учебник для вузов. – М.: Дашков и К, 2002. – 1012 с.
11. Коршунова Л. А., Кузьмина Н. Г. Техничко-экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания по выполнению экономического раздела ВКР для студентов энергетических специальностей всех форм обучения. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012.
12. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) / М-возкон. РФ, М-во фин. РФ, ГК по стр-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО "НПО "Изд-во "Экономика", 2000.

**Приложение А.**  
Графический материал.



## Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата

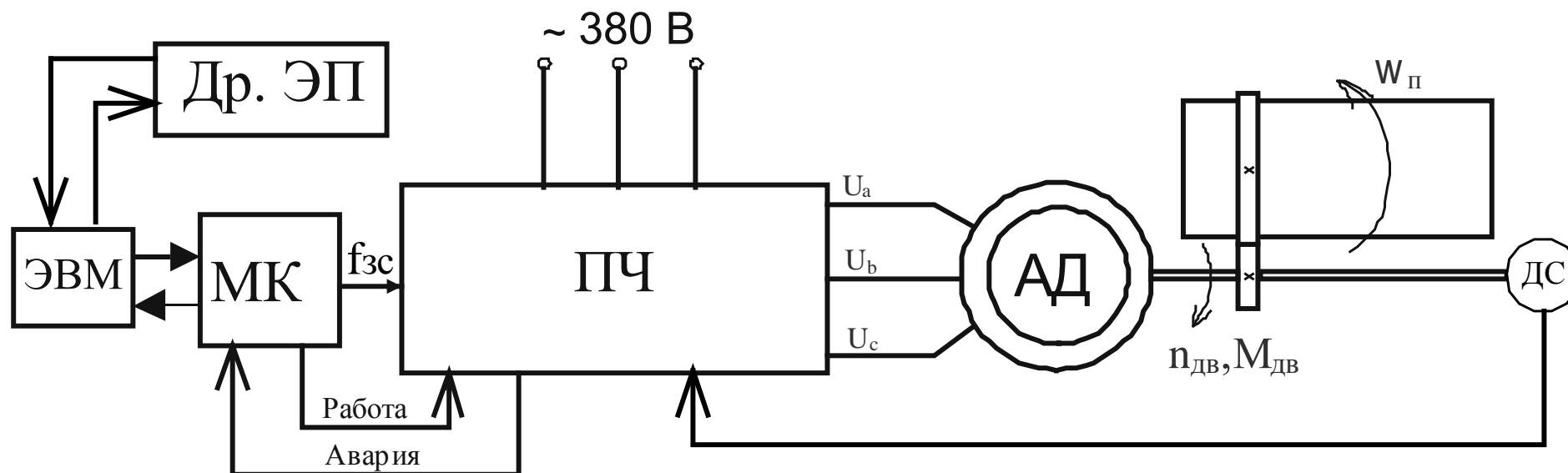


Масса печи  $m_{\text{п}}=5000$  кг.

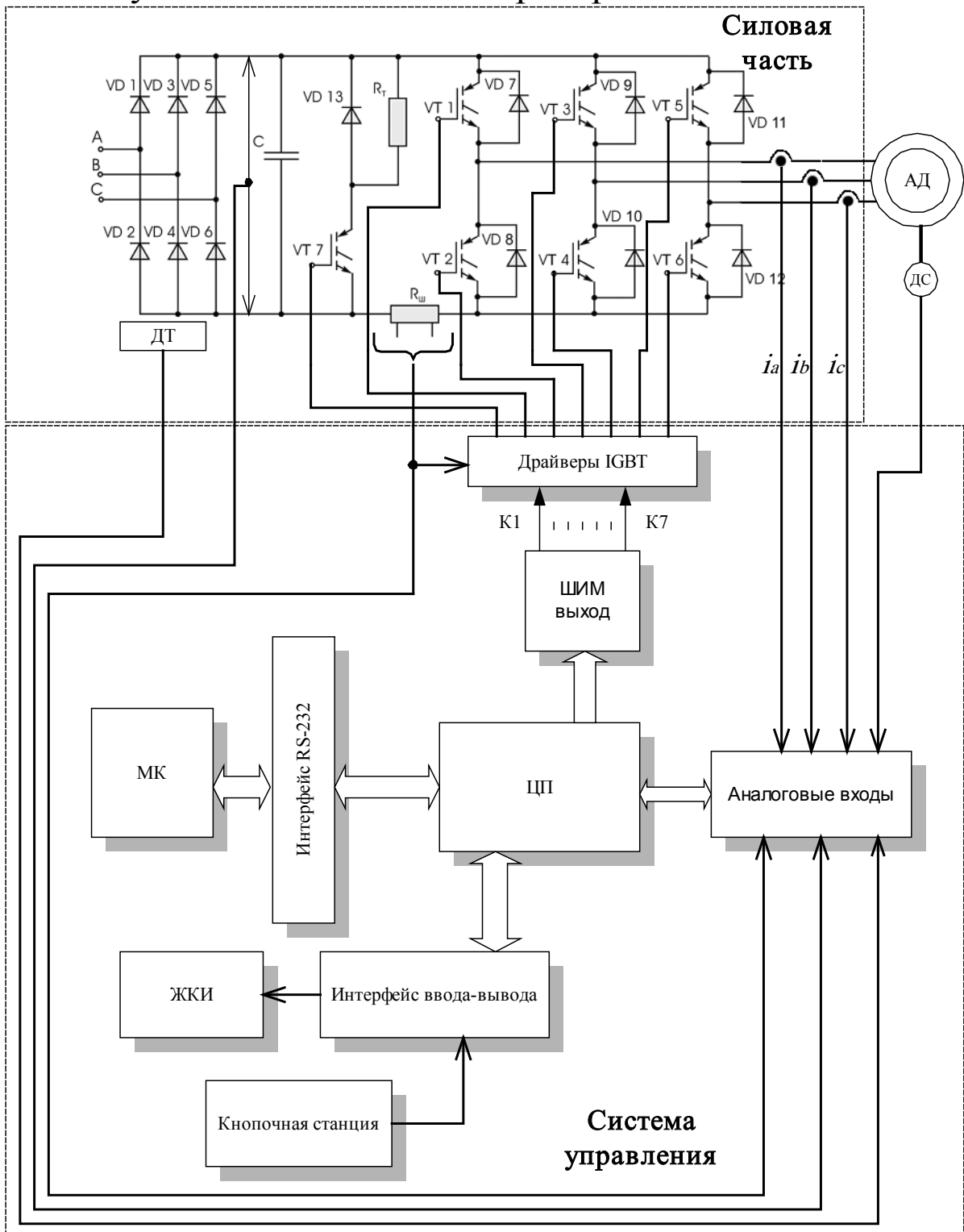
Масса загружаемого сырья  $m_{\text{с}}=3000$  кг.

Редуктор имеет передаточное число  $i=750$

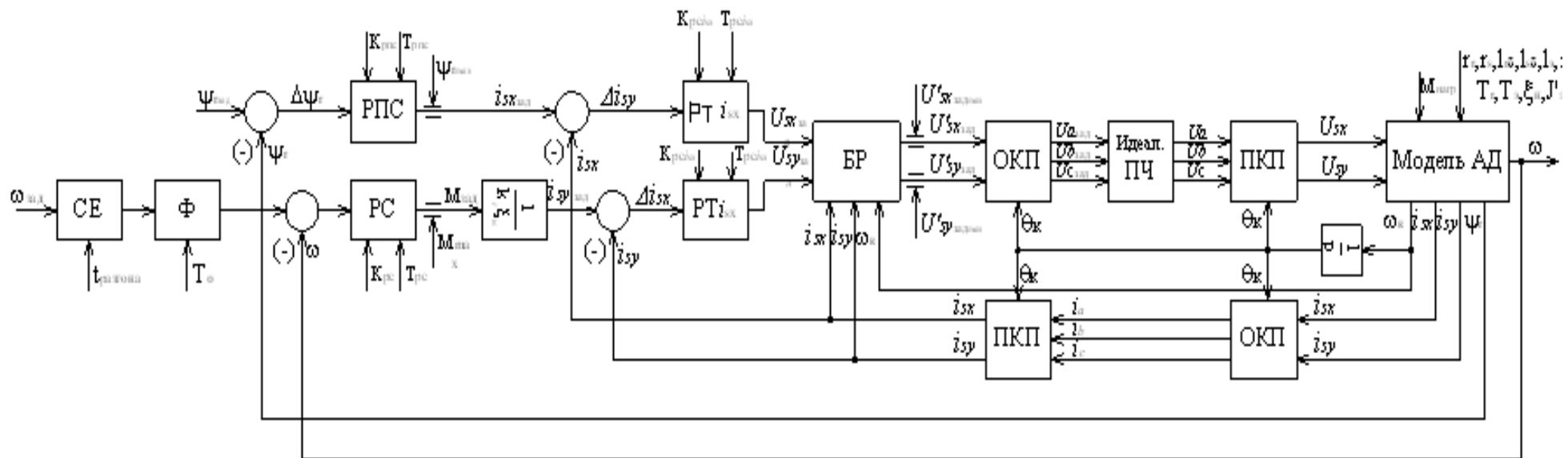
## Упрощенная функциональная схема электропривода

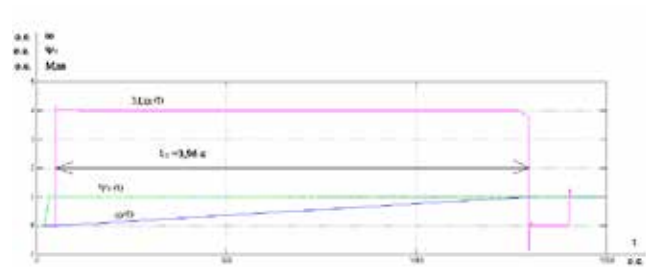


# Функциональная схема преобразователя частоты

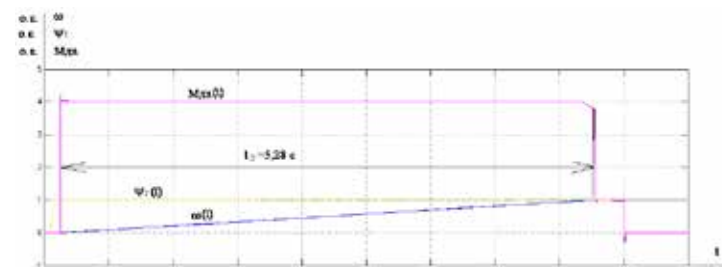


# Упрощенная структурная схема системы векторного управления асинхронным электроприводом с однозонным регулированием скорости

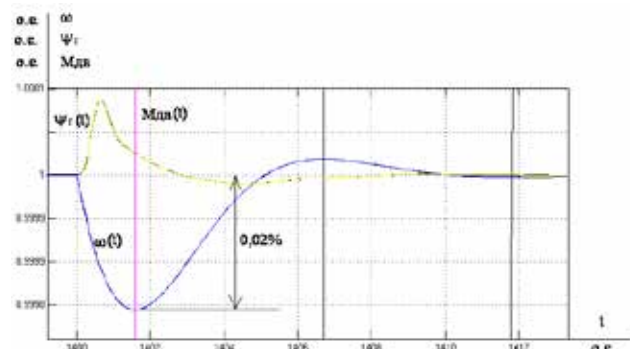




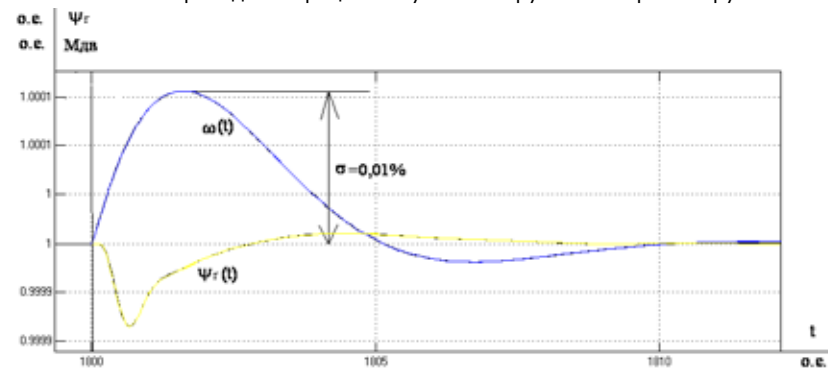
Переходные процессы пуска без нагрузки и наброс нагрузки



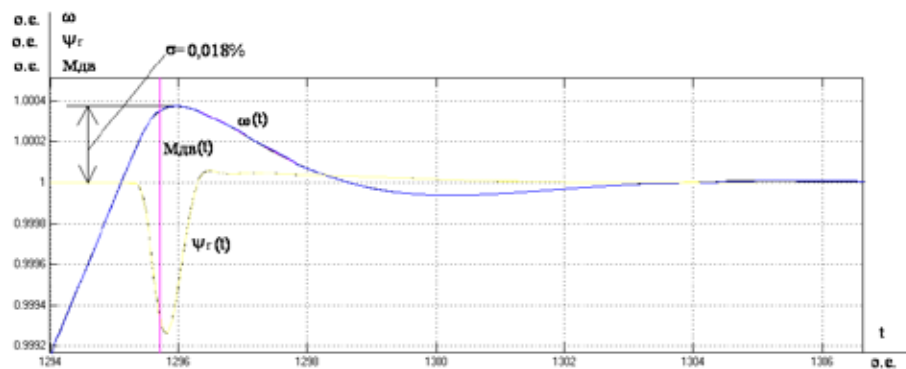
Переходные процессы пуска с нагрузкой и сброс нагрузки



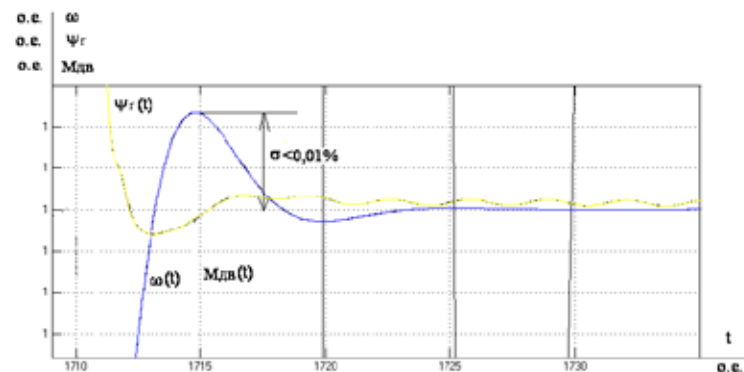
Увеличенный переходный процесс наброса нагрузки



Увеличенный переходный процесс с нагрузкой



Увеличенный переходный процесс пуска без нагрузки



Увеличенный переходный процесс пуска с нагрузкой